



**PEMODELAN LIKUIFAKSI DENGAN MENGGUNAKAN ALAT UJI
SHAKING TABLE UNTUK MENGANALISIS KOMPOSISI
STRUKTUR TANAH YANG BERPOTENSI
LIKUIFAKSI**

SKRIPSI

Oleh:

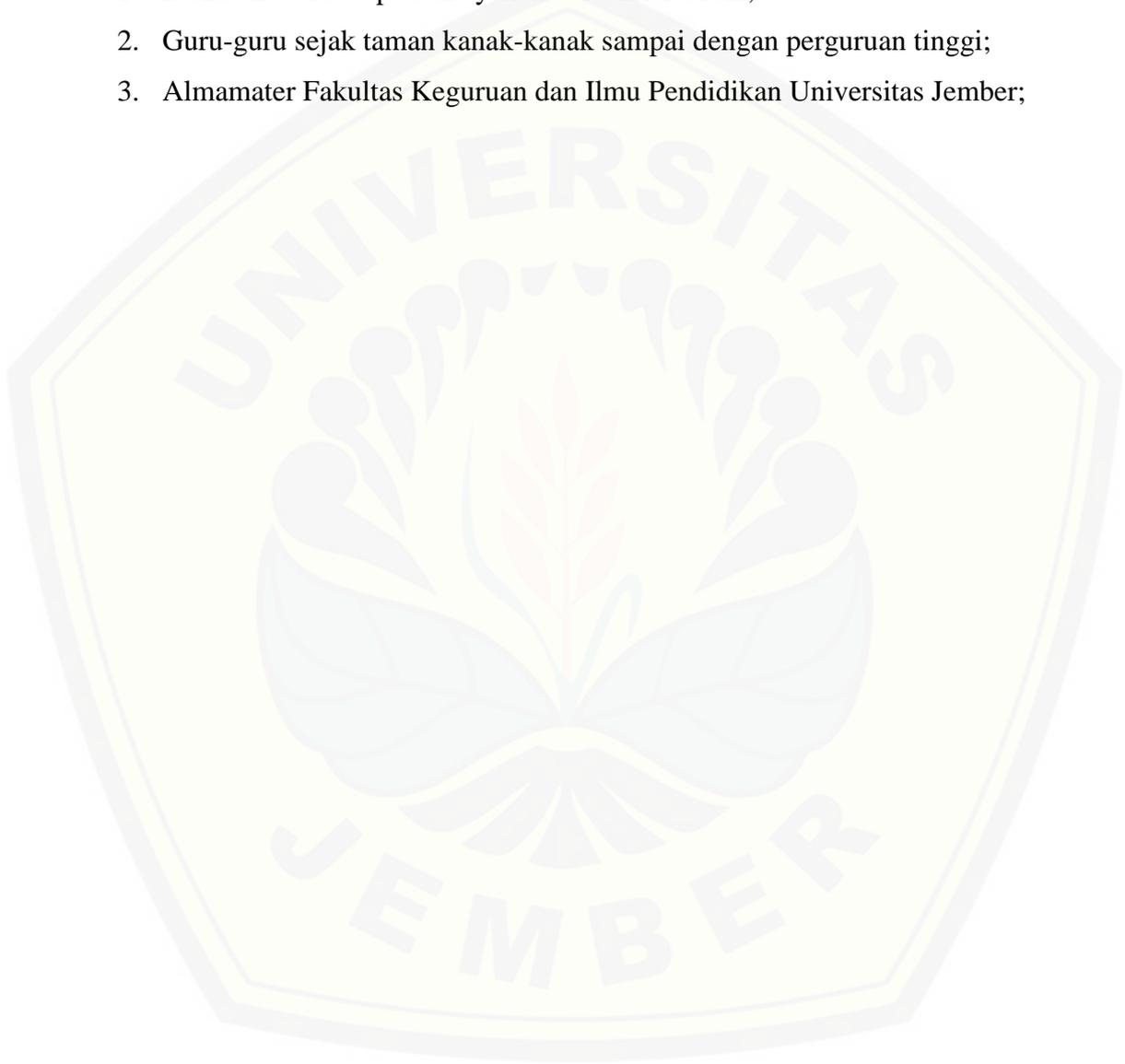
**Anita Nadia Aprilina
NIM 160210102058**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan segala cinta kasih kepada:

1. Ibunda Dewi Satupa dan ayahanda Fatkhul Ulum;
2. Guru-guru sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;



MOTTO

*“Someday I’ll be big enough so you can’t hit me, and all you’re ever gonna be is
mean”*

(Taylor Swift)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anita Nadia Aprilina

NIM : 160210102058

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemodelan Likuifaksi Dengan Menggunakan Alat Uji *Shaking Table* Untuk Menganalisis Komposisi Tanah Yang Berpotensi Likuifaksi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab dengan keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2021

Yang menyatakan,

Anita Nadia Aprilina
NIM 160210102058

SKRIPSI

**PEMODELAN LIKUIFAKSI DENGAN MENGGUNAKAN ALAT UJI
SHAKING TABLE UNTUK MENGANALISIS KOMPOSISI TANAH
YANG BERPOTENSI LIKUIFAKSI**

Oleh:

**Anita Nadia Aprilina
NIM 160210102058**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sri Astutik, M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemodelan Likuifaksi Dengan Menggunakan Alat Uji *Shaking Table* Untuk Menganalisis Komposisi Tanah Yang Berpotensi Likuifaksi” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sri Astutik, M. Si

NIP. 19670610 199203 2 002

Anggota I,

Drs. Albertus Djoko Lesmono, M. Si

NIP. 19641230 199302 1 001

Anggota II,

Dr. Yushardi, S.Si., M.Si

NIP. 19650420 199512 1 001

Dr. Supeno, S. Pd., M. Si

NIP. 19741207 199303 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember

Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd

NIP. 19600612 198702 1 001

RINGKASAN

Pemodelan Likuifaksi Dengan Menggunakan Alat Uji *Shaking Table* Untuk Menganalisis Komposisi Tanah Yang Berpotensi Likuifaksi; Anita Nadia Apilina; 160210102058; 44 halaman, Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Indonesia merupakan Negara yang rawan akan bencana alam, hal ini dikarenakan Indonesia terletak di jalur pertemuan 3 lempeng tektonik yaitu lempeng Hindia – Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik sehingga sangat berpotensi mengalami gempa bumi. Gempa yang terjadi di kota Palu pada 28 September 2018 mengakibatkan terjadinya tsunami dan tanah bergerak atau likuifaksi. Likuifaksi sendiri merupakan hilangnya kekuatan tanah yang jenuh air menjadi cair yang disebabkan oleh meningkatnya tekanan air pori tanah akibat adanya getaran. Likuifaksi terjadi karena adanya proses kenaikan air pori tanah dan turunnya tanah pada lapisan pasir yang jenuh air akibat terjadinya gempa tektonik. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis hasil dari pemodelan potensi likuifaksi menggunakan alat uji *shaking table* berdasarkan komposisi tanah dan berdasarkan ketinggian muka air tanah.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kualitatif dengan pemodelan menggunakan alat uji *shaking table*. Alat uji ini menggunakan gerakan siklik dengan tenaga listrik yang digerakkan oleh dinamo yang disambungkan pada gear box sebagai pemodelan gempa bumi tektonik. Alat uji menggunakan pengasumsian getaran dengan amplitudo $>7SR$ dan mengacu kepada skala MMI VIII – X yang ditetapkan oleh BMKG. Getaran pada alat uji *shaking table* sebagai variabel kontrol karena pada pemodelan ini getaran pada semua sampel adalah sama menggunakan kekuatan getaran VIII skala MMI. Sampel tanah yang digunakan yaitu tanah pasir pantai dan juga tanah liat. Semua tanah dalam keadaan kering dan memiliki diameter sama yaitu berdasarkan hasil ayakan no. 20 yang berdiameter lubang 0,850 mm.

Getaran berdurasi sekitar 30 sekon setiap pemodelan, disetiap 5 sekon akan lihat nilai dari penurunan tanah dan juga kenaikan air tanahnya.

Berdasarkan data tabel dan grafik hasil penelitian diperoleh bahwa pasir memiliki penurunan tanah yang lebih cepat dan kenaikan air pori yang lebih lambat dibandingkan dengan tanah liat dan campuran (pasir dan liat). Tanah liat penurunan tanahnya lambat dalam waktu yang sangat lama. Penurunan tanah pada tanah liat mengalami perubahan yang besar tetapi penurunan tersebut terjadi dalam kurun waktu yang lama. Grafik penurunan tanah pasir hampir membentuk garis lurus dimana memiliki arti bahwa tanah pasir dalam waktu yang cepat dapat mengalami penurunan tanah yang menyebabkan tanah tidak dapat menopang beban di atasnya. Dari tabel dan grafik tanah campuran menunjukkan penurunan tanahnya sangat lambat dan kenaikan air porinya sangat cepat sehingga dapat meminimalisir terjadinya likuifaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir yang diberi air dengan volume 5L mengalami penurunan tanah dan kenaikan air pori yang sangat besar dan cepat. Sedangkan untuk pasir yang diberi volume air 4L dan 4.5L penurunan tanah dan kenaikan air pori tidak terlalu besar diasumsikan sebagai daerah dengan ketinggian muka air tanah yang dalam. Suatu daerah yang terjadi likuifaksi salah satu faktornya yaitu daerah jenuh air yang memiliki kedalaman muka air tanah yang dangkal.

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu tanah pasir yang merupakan tanah jenuh air berpotensi terjadinya likuifaksi dan berdasarkan ketinggian muka air tanah menunjukkan tanah pasir dengan volume 5L yang diasumsikan sebagai daerah dengan ketinggian muka air tanah dangkal, cenderung mengalami likuifaksi yang dahsyat dan lebih cepat.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan Likuifaksi Dengan Menggunakan Alat Uji *Shaking Table* Untuk Menganalisis Komposisi Tanah Yang Berpotensi Likuifaksi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

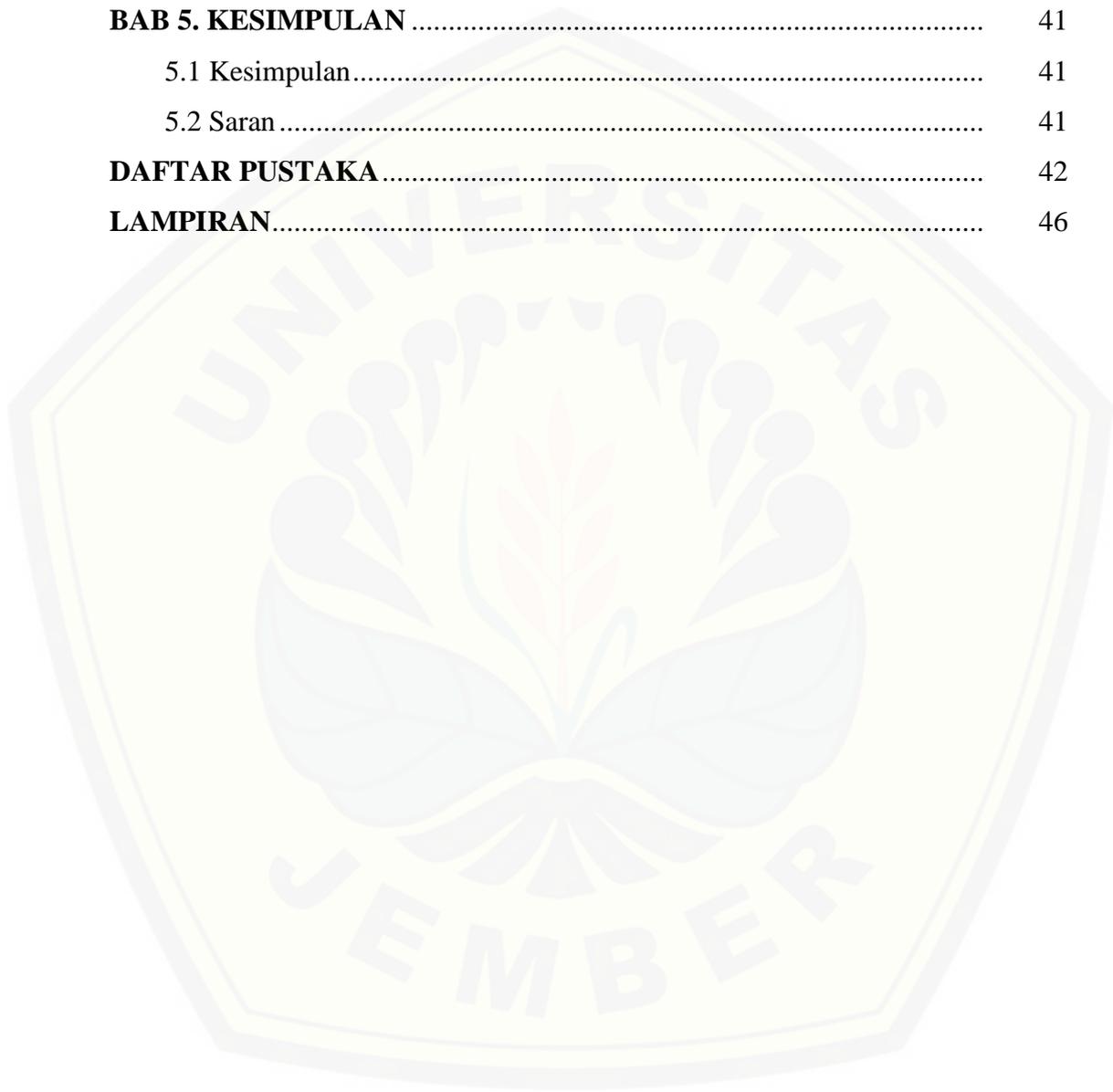
1. Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah memberikan fasilitas dan kemudahan dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dr. Dwi wahyuni, M.Kes selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Jember yang telah meluangkan waktu demi kelancaran penyusunan skripsi ini;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember yang telah meluangkan waktu demi kelancaran penyusunan skripsi ini;
4. Dr. Sri Astutik, M. Si selaku Dosen Pembimbing utama, dan Drs. Albertus Djoko Lesmono, M. Si selaku Dosen Pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Dr. Yushardi, S. Si., M. Si selaku dosen penguji utama dan Dr. Supeno, S. Pd., M. Si selaku dosen penguji anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini
6. Bapak Fatkhul Ulum selaku perancang dan pembuat alat uji *shaking table*

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
HALAMAN JUDUL	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gempa Bumi.....	5
2.2 Klasifikasi Tanah.....	10
2.3 Likuifaksi.....	14
BAB 3. METODE PENELITIAN	21
3.1 Jenis Penelitian	21
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel.....	21
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.5 Alur Penelitian.....	24
3.6 Teknik Pengambilan data	25

3.7 Teknik Analisis Data	26
BAB 4. PEMBAHASAN	29
4.1 Hail Penelitian	29
4.2 Pembahasan	36
BAB 5. KESIMPULAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	46



DAFTAR TABEL

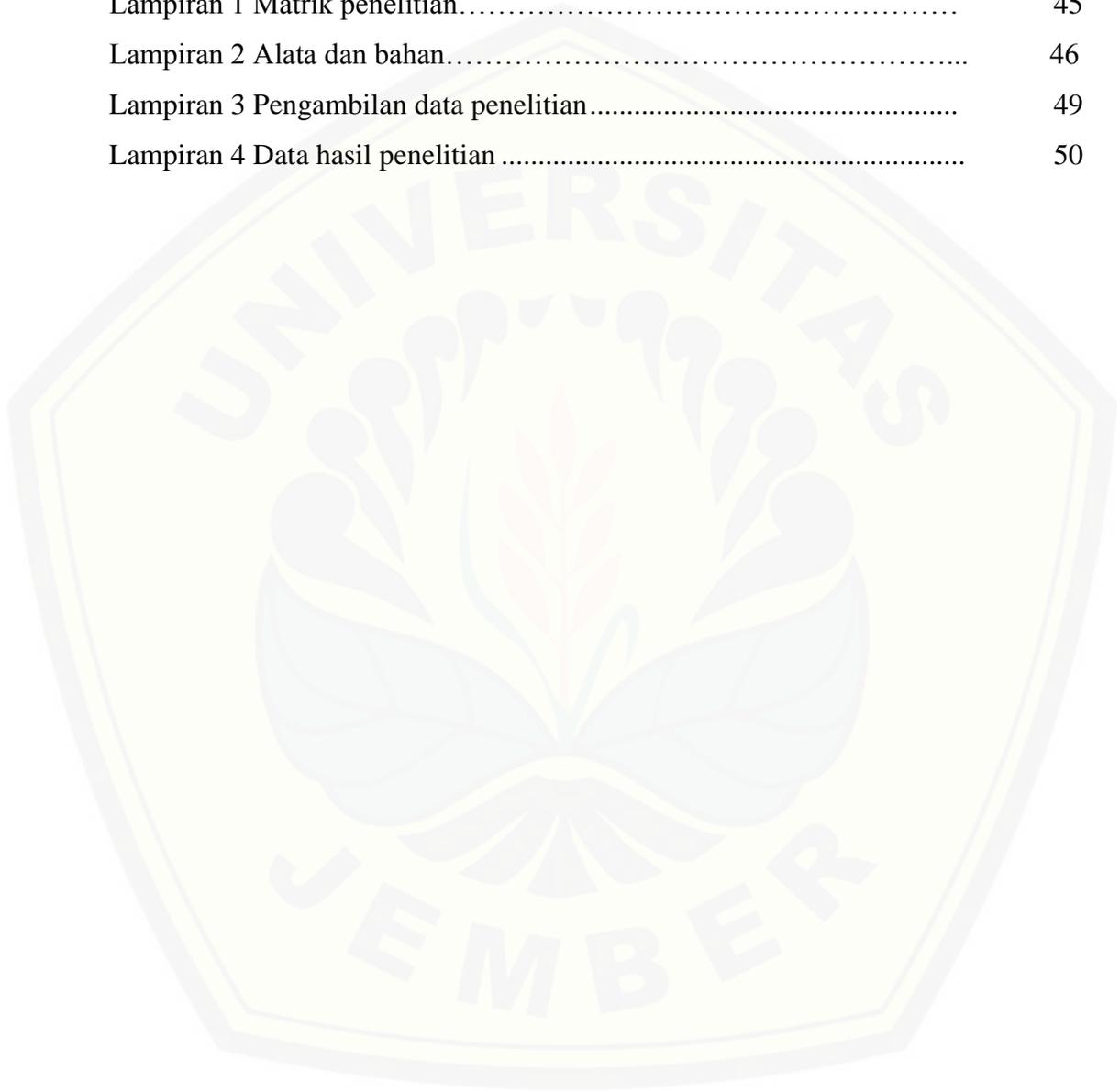
	Halaman
2.1 Kriteria kemandapan struktur tanah.....	11
2.2 Tipe ukuran struktur tanah	12
3.1 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah pasir	26
3.2 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah liat.....	27
3.3 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah campuran	27
3.4 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berpotensi likuifaksi dengan V air 4L	27
3.5 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berotensi likuifaksi dengan V air 4.5L	28
3.6 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berpotensi likuifaksi dengan V air 5L	28
4.1 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah pasir	30
4.2 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah liat.....	31
4.3 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi likuifaksi pada tanah campuran	31
4.4 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berpotensi likuifaksi dengan V air 4L	33
4.5 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berotensi likuifaksi dengan V air 4.5L	34
4.6 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berpotensi likuifaksi dengan V air 5L	34

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Pergeseran di kerak bumi	6
2.2 Skala MMI gempa.....	8
2.3 Alat uji <i>shaking table</i> dengan pasir.....	9
2.4 Aplikasi <i>vibrometer</i> pada android.....	9
2.5 Hasil getaran pada <i>shaking tablel</i> menggunakan <i>vibrometer</i>	10
2.6 Tipe struktur tanah	11
2.7 Segitiga fraksi ukuran butiran	12
2.8 Hubungan s dan t untuk tanah pasir dan liat	16
2.9 Kondisi partikel tanah saat normal.....	18
2.10 Kondisi partikel tanah saat mengalami getaran	18
3.1 Bagan alur penelitian	24
4.1 Aplikasi <i>vibrometer</i> pada android.....	29
4.2 Grafik penurunan tanah untuk tanah liat, pasir, dan campuran	32
4.3 Grafik kenaikan air pori untuk tanah liat, pasir, dan campuran.....	32
4.4 Grafik penurunan tanah untuk V 4L, V 4.5L dan V 5L.....	35
4.5 Grafik kenaikan air pori untuk V 4L, V 4.5L dan V 5L	35
4.6 Hubungan s dan t untuk tanah pasir dan liat	39

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Matrik penelitian.....	45
Lampiran 2 Alata dan bahan.....	46
Lampiran 3 Pengambilan data penelitian.....	49
Lampiran 4 Data hasil penelitian	50



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika merupakan ilmu yang erat kaitannya dengan kehidupan manusia di muka bumi. Salah satunya yaitu alam, baik keanekaragamannya sampai dengan bencana. Indonesia sendiri merupakan Negara yang rawan terhadap bencana alam, hal ini dikarenakan Indonesia terletak di jalur pertemuan 3 lempeng tektonik yaitu lempeng Hindia – Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik sehingga berpotensi mengalami gempa bumi. Gempa yang terjadi di kota Palu pada 28 September 2018 mengakibatkan terjadinya tsunami dan likuifaksi, menurut kepala pusat BNPB, bapak Sutopo yaitu bergeraknya rumah warga dan bangunan roboh disebabkan oleh likuifaksi dan amblesan akibat dari gempa 7,4 SR dengan skala MMI VIII. Gempa bumi yang menyebabkan likuifaksi di Palu, terjadi karena struktur tanah pada daerah tersebut didominasi oleh tanah berpasir jenuh yang memiliki tekstur tanah pasir halus (Lin dan Rebecca, 2018) . Daerah palu memiliki 3 jenis tanah yang dimana bila dikombinasikan dapat menentukan struktur suatu tanah, yaitu tanah pasir, tanah lanau dan tanah liat. Berbeda halnya dengan riset yang dilakukan oleh pusat penelitian geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) di daerah Cekung Bandung, menyatakan bahwa daerah tersebut kecil potensi terjadinya likuifaksi dikarenakan daerah tersebut dominan berjenis tanah lunak (Siswadi, 2018).

Likuifaksi merupakan hilangnya kekuatan tanah yang jenuh air menjadi cair yang disebabkan oleh tekanan air pori tanah yang meningkat akibat adanya getaran (Aldi, 2011). Likuifaksi juga merupakan proses meningkatnya tekanan air pori dan menurunnya tekanan efektif tanah pada lapisan pasir yang jenuh air akibat gempa bumi tektonik (Siahaan, 2015). Tekanan air di suatu tanah sebelum terjadi gempa bumi cukup rendah. Namun setelah menerima getaran (gempa bumi), tekanan air dalam tanah meningkat, mengakibatkan partikel-partikel tanah dapat bergerak dengan mudah. Partikel tanah yang digerakkan oleh air tidak lagi memiliki kekuatan atau daya dukung, yang menyebabkan daya dukung tanah

sepenuhnya berasal dari tegangan air pori dan porositas tanah (Mina *et al.*,2018). Sifat keteknikan tanah, kondisi lingkungan geologi dan karakteristik gempa bumi dapat mempengaruhi peristiwa likuifaksi pada lapisan tanah. Faktor – faktor yang harus di pertimbangkan anatara lain ukuran butir, jenis tanah, muka air tanah dan karakteristik getaran. Menurut Siahaan (2015) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa likuifaksi terjadi jika getaran dari gempa menunjukkan skala >7 SR dengan skala MMI VIII. Likuifaksi juga terjadi karena adanya perbedaan tekstur, gradasi dan komposisi tanah. Jenis tanah yang memiliki kemungkinan menyebabkan likuifaksi terjadi yaitu tanah pasir yang jenuh air,dengan diameter butiran 0,08 mm sampai 2mm. Pasir tidak berkohehi, padat dan lepas.

Analisis yang dilakukan Hasibuan *et al* (2018) likuifaksi pada pasir gradasi seragam dengan pemodelan di laboratorium dengan variasi ukuran butiran tanah yang berbeda – beda. Hasil yang diperoleh menunjukkan tanah pasir yang memiliki gradasi butiran halus lebih mudah terjadi likuifaksi dibandingkan dengan gradasi butiran yang sedang maupun yang kasar. Sedangkan dalam penelitian Vesariany (2012) untuk melihat potensi terjadinya likuifaksi berdasarkan ukuran dan bentuk butiran, dapat dilakukan dengan pemodelan menggunakan alat uji *shaking table* untuk melihat seberapa besar pengaruh dari struktur tanah dan butiran yang berpotensi likuifaksi. Hasil yang diperoleh menunjukkan pasir halus yang bergradasi buruk dan tekstur tanah yang kasar pada kondisi muka air tanah yang tinggi cenderung lebih besar berpotensi likuifaksi. Tanah bertekstur kasar merupakan tanah yang memiliki kandungan pasir lebih banyak dibandingkan kandungan tanah liat dan debu. Sedangkan tanah bertekstur halus mengandung tanah pasir yang lebih sedikit dibandingkan dengan kandungan tanah liat dan debu. Pengujian secara sederhana dapat dilakukan dengan mengambil dua sampel tanah yaitu tanah pasir dan tanah liat. Kedua tanah tersebut bila diberi air akan mengalami keadaan yang berbeda. Pada tanah liat bila diberi air dan tekanan akan membentuk gumpalan yang padat, sedangkan tanah pasir bila diberi air dan tekanan akan mencair tidak membentuk suatu padatan seperti tanah liat. Hal ini disebabkan tanah liat merupakan tanah yang bertekstur halus, sedangkan pasir merupakan tanah yang bertekstur kasar (Muntohar,2012).

Lapisan tanah liat yang kenyang air, apabila diberi getaran akan terjadi pengurangan volume tanah atau pengurangan volume pori yang berisi air, karena air yang ada dalam pori dapat mengalir keluar. Keluarnya air melalui pori tanah bersama dengan adanya getaran membuat kondisi tanah membentuk gumpalan yang padat, sehingga kenaikan air pori dan penurunan tanah berlangsung sangat lambat (Hardiyatmo, 2008).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Siahaan (2015), Hasibuan (2018) dan Vesariany (2012) menunjukkan bahwa gradasi/ ukuran butiran tanah, tekstur tanah dan juga muka air tanah sangat mempengaruhi terjadinya likuifaksi. Ketiga penelitian tersebut belum menganalisis pengaruh jenis tanah dan perbedaan ketinggian muka air tanah yang sangat berpotensi likuifaksi. Pemodelan likuifaksi menggunakan alat uji *shaking table* yang akan dilakukan mengacu kepada faktor terjadinya likuifaksi untuk menganalisis jenis tanah dan juga ketinggian muka air tanah yang berpotensi likuifaksi. Penelitian I untuk mengetahui pengaruh jenis tanah, Sampel tanah yang digunakan yaitu tanah pasir, tanah liat, dan tanah campuran liat dan pasir dengan gradasi tanah, struktur tanah dan ketinggian muka air tanah yang sama. Penelitian II untuk mengetahui pengaruh ketinggian muka air tanah, sampel tanah yang digunakan hanya tanah pasir, tetapi pada penelitian ini ketinggian muka air tanah ada 3 jenis yaitu muka air tanah dangkal, muka air tanah sedang, dan muka air tanah dalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis tanah dan ketinggian muka air tanah yang sangat besar berpotensi likuifaksi. Karena menurut Widodo (2012) likuifaksi terjadi di daerah dataran rendah yang didominasi dengan tanah berpasir dengan muka air tanah dangkal. Menurut Wesley (2017) juga menyebutkan bahwa Suatu daerah yang terjadi likuifaksi salah satu faktornya yaitu daerah jenuh air yang memiliki kedalaman muka air tanah yang dangkal.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimanakah hasil pemodelan potensi likuifaksi menggunakan alat uji *Shaking table* berdasarkan komposisi tanah?
- b. Bagaimanakah hasil pemodelan potensi likuifaksi menggunakan alat uji *Shaking table* berdasarkan ketinggian muka air tanah?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Menganalisis hasil pemodelan potensi likuifaksi menggunakan alat uji *Shaking table* berdasarkan komposisi tanah.
- b. Menganalisis hasil pemodelan potensi likuifaksi menggunakan alat uji *Shaking table* berdasarkan ketinggian muka air tanah.

1.4 Manfaat Penelitian

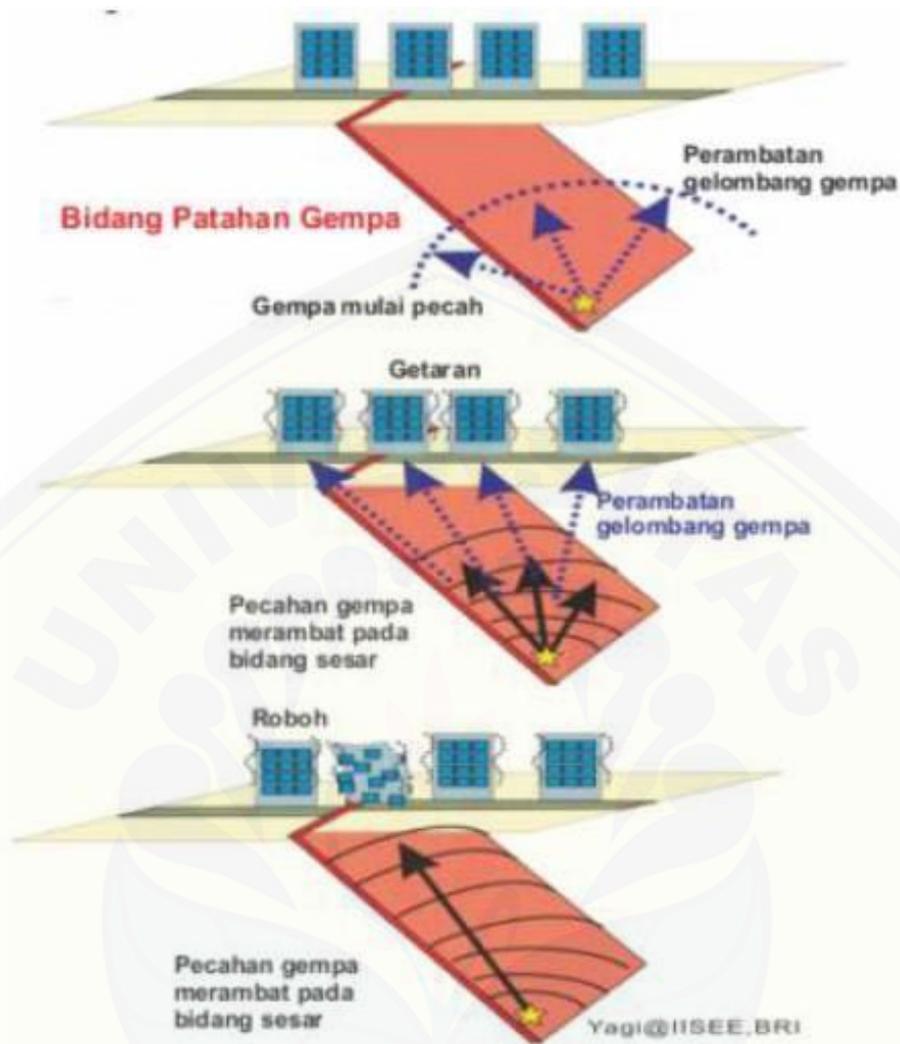
Manfaat dari penelitian ini yaitu dengan memodelkan terjadinya likuifaksi dengan jenis komposisi tanah dan ketinggian muka air tanah yang berbeda diharapkan masyarakat dapat mengetahui lahan seperti apa yang dapat berpotensi likuifaksi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa yang terjadi di Palu tidak berpotensi Tsunami tetapi mengakibatkan terjadinya likuifaksi yang membuat rumah dan bangunan di atas tanah rusak dan bergeser terseret lumpur dan air. Tahun 2012 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral telah melakukan kajian terkait titik – titik mana saja yang rentan terjadi Likuifaksi di Provinsi Sulawesi Tengah, namun hal tersebut tidak ada tindak lanjut dari pemkab daerah setempat sehingga tidak ada upaya untuk mencegah, memperbaiki struktur tanah dan juga tidak ada wawasan akan mitigasi bencana yang baik. Likuifaksi itu sendiri terjadi dikarenakan adanya gempa yang berkekuatan tinggi di daerah dataran rendah yang didominasi dengan tanah berpasir dengan muka air tanahnya dangkal (Hasmar.,2013). Rambatan gelombang gempa menimbulkan terjadi gaya geser siklik dinamika dari lokasi pusat gempa sampai muka tanah. Saat terjadi gempa setiap lapisan tanah memiliki perubahan parameter tanah. Gelombang gempa yang terjadi pada muka tanah mengakibatkan terjadinya kerusakan bangunan, kemungkinan terjadinya likuifaksi dan tsunami (Ibrahim dan Subardjo, 2001).

Gempa bumi merupakan peristiwa bergetar atau berguncangnya bumi karena adanya pergerakan atau pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi akibat pergerakan lempeng tektonik, selain itu gempa bumi juga dapat terjadi karena adanya aktivitas dari gunung berapi. Lapisan batuan yang bergerak di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang seismik. Saat gelombang seismik mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi (Irsyam *et al.*,2010).



(sumber : Yagi,IISEE,2006)

Gambar 2.1 Pergeseran di Kerak Bumi

Pusat gempa yang mengeluarkan energi karena adanya patahan, getaran akan merambat pada lapisan batuan dan diteruskan merambat pada lapisan – lapisan tanah sampai permukaan tanah (Soehaimi, 2008). Gelombang getaran yang dirambatkan merupakan beban siklik dinamik, dibagi dalam dua bagian, yaitu:

a. *Body waves*

Terdiri dari dua bentuk gelombang yaitu *primary wave (P-wave)* dan *secondary wave (S-wave)*. Merupakan gelombang yang bergerak keempat

arah dan gelombang yang sangat cepat. Gelombang ini mampu mendorong lapisan tanah ke beberapa sisi dan membuatnya merekah.

b. *Surface waves*

Terdiri dari *Rayleigh wave (R-wave)* dan *love wave (L-wave)*. Merupakan gelombang yang paling lambat. Gelombang ini merupakan gelombang yang paling merusak karena lebih banyak menghasilkan pergerakan tanah dan berjalan lambat.

(Ilahi *et al.*,2018).

Berdasarkan kekuatannya atau magnitudo (M) berskala Richter (SR) dapat dibedakan atas:

- 1) Gempa bumi sangat besar $M > 8$ SR
- 2) Gempa bumi besar $M 7 - 8$ SR
- 3) Gempa bumi merusak $M 5 - 6$ SR
- 4) Gempa bumi sedang $M 4 - 5$ SR
- 5) Gempa bumi kecil $M 3 - 4$ SR
- 6) Gempa bumi mikro $M 1 - 3$ SR
- 7) Gempa bumi ultra mikro $M < 1$ SR

(Sunarjo *et al.*,2012:27).

Dalam skala MMI kekuatan gempa dapat dibedakan seperti gambar dibawah ini:

MMI	MAGNITUDE	OBSERVASI SAKSI MATA
I. Instrumental	1-2	Dirasakan oleh sedikit orang; hampir tak terasa.
II. Lemah	2-3	Dirasakan oleh sedikit orang, terutama di lantai teratas bangunan.
III. Sedikit	3-4	Dirasakan didalam ruangan, terutama di lantai teratas bangunan, tetapi mungkin dianggap bukan merupakan gempa.
IV. Menengah	4	Dirasakan oleh banyak orang di dalam ruangan, beberapa orang di luar ruangan. Dirasakan seperti guncangan truk berat yang lewat.
V. Agak Kuat	4-5	Dirasakan oleh hampir semua orang, beberapa orang terbangun. Benda-benda kecil bergerak. Pepohonan dan kolam renang dapat bergetar.
VI. Kuat	5-6	Dirasakan oleh setiap orang. Sulit untuk berdiri. Perabotan rumah berat tergeser, beberapa plafon jatuh. Atap mungkin mengalami kerusakan.
VII. Sangat Kuat	6	Kerusakan ringan – sedang terjadi pada bangunan dng kualitas sedang. Kerusakan serius terjadi pada bangunan dengan kualitas buruk. Beberapa tembok runtuh.
VIII. Merusak	6-7	Kerusakan kecil terjadi pada bangunan yang special. Kerusakan sedang pada bangunan dengan kualitas sedang dan banyak kerusakan pada bangunan dengan kualitas buruk. Beberapa dinding runtuh.
IX. Hebat	7	Kerusakan sedang pada bangunan yang special, Bangunan mengalami pergeseran fundasi, terlihat ada retakan di permukaan tanah. Kerusakan parah. Longsoran lereng
X. Sangat Hebat	7-8	Kebanyakan bangunan batu, kolom dan fundasi hancur. Retakan lebar di permukaan. Longsoran lereng. Kerusakan parah
XI. Ekstrem	8	Kerusakan total. Hanya sedikit bangunan utuh. Jembatan hancur. Retakan lebar di permukaan gelombang terlihat di permukaan.
XII. Bencana	>8	Kerusakan total. Gelombang terlihat di permukaan. Benda terlempar di udara.

(sumber: <https://warstek.com/2018/02/18/gempa/>)

Gambar 2.2 Skala MMI gempa

Pemodelan likuifaksi pada penelitian ini, menggunakan pemodelan gempa bumi yang memiliki kekuatan gempa dengan amplitudo $>7SR$ dan mengacu pada skala MMI VIII – X yang ditetapkan oleh BMKG. Pemodelan gempa untuk membangkitkan getaran menggunakan alat uji *shaking table*, alat uji *shaking table* adalah pemodel gerakan siklik dinamik dari terjadinya tegangan geser pada lapisan tanah sebagai akibat gelombang S (*S-wave*). Alat uji berupa sebuah meja yang dapat digerakkan bolak – balik (siklik) dengan tegangan listrik sebagai model *s-wave* dari gempa bumi tektonik (Prasad *et al.*, 2004). Perambatan gelombang geser dari pusat gempa ke permukaan bumi dapat menimbulkan gelombang geser pada lapisan tanah. Gelombang geser tersebut merupakan percepatan gelombang yang bergerak bolak – balik dengan jarak yang sama. Gelombang gempa yang merambat akan terjadi gaya siklik dinamik yang

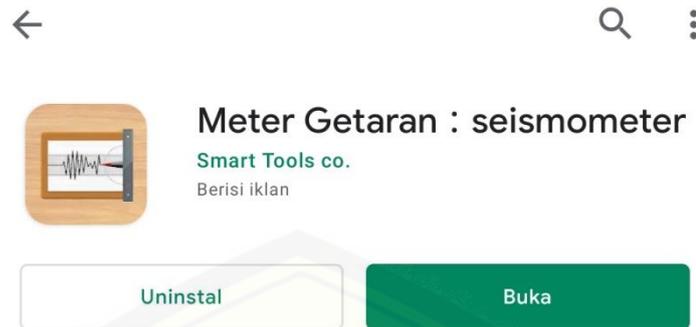
menyebabkan kerusakan konstruksi tanah (Mufida *et al.*,2013). Alat uji ini menggunakan gerakan siklik dengan tenaga listrik yang digerakkan oleh dinamo yang disambungkan pada gear box sebagai pemodelan gempa bumi tektonik seperti pada gambar 2.3



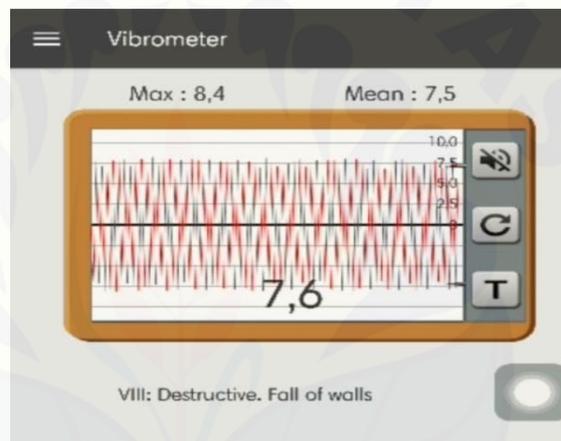
(Sumber: Foto penelitian yang di lakukan oleh peneliti)

Gambar 2.3 Alat uji *shaking table* dengan pasir

Shaking table pada saat pengujian bergerak secara bolak – balik dengan langkah yang tetap. Langkah yang tetap tersebut merupakan model percepatan dari gaya geser yang terjadi pada lapisan tanah saat terjadinya gempa. Dengan percepatan dan beban siklik tertentu, dapat dievaluasi apakah sampel tanah pasir yang jenuh air dapat menyebabkan likuifaksi. Uji validasi *shaking table* menggunakan alat ukur *vibrometer* yang terdapat pada aplikasi android. Pengujian dilakukan guna getaran yang dihasilkan oleh alat uji *shaking table* sama dengan keadaan yang sesungguhnya di lapangan (Hasmar, 2013).



Gambar 2.4 Aplikasi *vibrometer* pada android



Gambar 2.5 Hasil validasi getaran pada *shaking table* menggunakan *vibrometer*

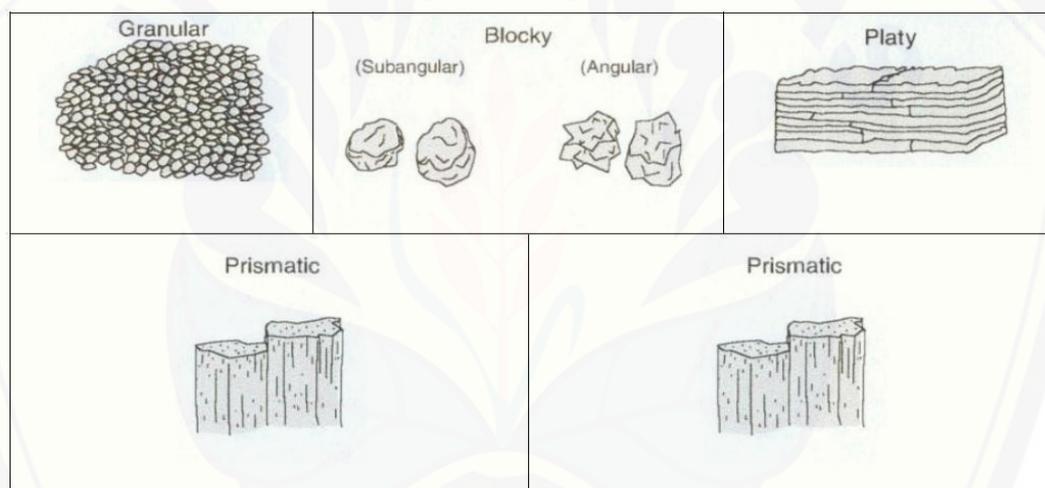
2.2 Klasifikasi Tanah

Pengertian tanah dalam tradisional diartikan sebagai media alami untuk pertumbuhan tanaman, tanah menutupi permukaan bumi sebagai suatu lapisan yang saling sambung – menyambung, tanah merupakan suatu benda alam yang tersusun dari padatan (bahan mineral dan bahan organik), cairan dan gas yang menempati permukaan daratan. Tanah juga memiliki arti sebagai himpunan mineral bahan organik dan endapan – endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar. Proses pembentukan tanah terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis merupakan proses mengubah batuan menjadi partikel kecil

akibat pengaruh angin, erosi, es, manusia, suhu atau cuaca. Sedangkan proses kimiawi merupakan akibat pengaruh zat di sekitarnya seperti oksigen, karbondioksida, air terutama yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia lainnya (Soil Survey Staff, 2014:1).

2.2.1 Struktur tanah

Melekatnya butiran – butiran tanah satu sama lain yang membentuk gumpalan – gumpalan kecil dari tanah disebut dengan struktur tanah. Apabila unit – unit struktur tersebut tidak terbentuk maka dikatakan bahwa tanah tersebut tidak berstruktur. Tiga aspek struktur tanah yang diamati yaitu bentuk, tingkat perkembangan dan ukuran. Bentuk dari struktur tanah terdiri dari seperti pada Gambar 2.6 berikut:



(sumber: Brady and Weil, 1999)

Gambar 2.6 Tipe Struktur Tanah

Tingkat Perkembangan atau kemantapan struktur tanah terdiri dari seperti pada tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Kriteria Kemantapan Struktur Tanah

Kriteria Kemantapan	Kriteria
Tidak berstruktur	Tidak dapat diamati dengan jelas bentuk struktur tanah
Lemah	Struktur tanah belum terbentuk sempurna dan sulit untuk diamati dengan mata telanjang
Sedang	Struktur tanah telah terbentuk baik dan dapat diamati langsung dengan mata telanjang
Kuat	Struktur tanah telah terbentuk sempurna dan jika bongkahan tanah dipecah, struktur tanah terlihat dengan jelas

(Fiantis, 2017:28).

Ukuran struktur tanah terdiri dari seperti pada tabel 2.2 berikut.

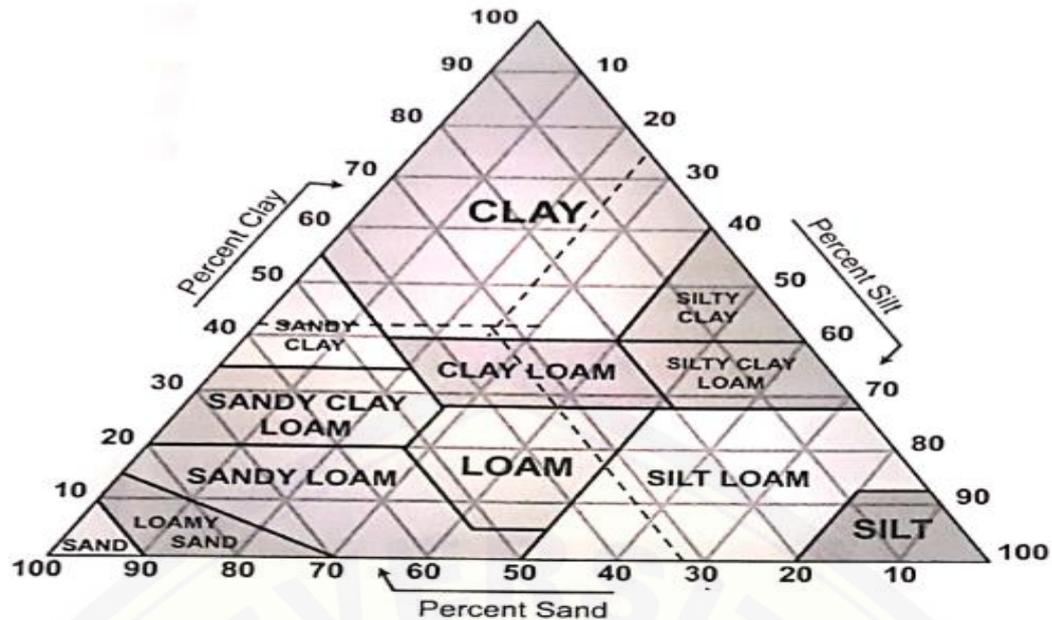
Tabel 2.2 Tipe Ukuran Struktur Tanah

Ukuran kelas	Tipe Ukuran Struktur Tanah (m)		
	Granular, Platy	Columnar, Prismatic	Angular, Subangular Blocky
Sangat halus	< 1	< 10	< 5
Halus	1 – 2	10 – 20	5 – 10
Sedang	2 – 5	20 – 50	10 – 20
Kasar	5 – 10	50 – 100	20 – 50
Sangat kasar	>10	100 – 500	>50
Paling kasar	-	>500	-

(Fiantis, 2017:29).

2.2.2 Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan perbandingan relatif fraksi pasir, debu dan liat yang menyusun massa tanah. Tekstur tanah juga menentukan tata air dalam tanah. Pembatasan fraksi masing – masing tekstur tanah digambarkan dalam segitiga tekstur atau *triangular texture* (gambar 2.7).



Gambar 2.7 Segitiga fraksi ukuran butir tanah

USDA (*The united states department of agriculture*) mengklasifikasikan kelompok butiran atau partikel dalam tiga fraksi tanah, yaitu *snad*: >0.05 mm, *sill*: $0.002 - 0.05$ mm, dan *clay*: <0.002 mm. Menurut tempatnya dalam segitiga ini dapat dibaca teksturnya. Tekstur berarti perbandingan antara banyaknya tanah liat (*clay*), lanau (*silt*), dan pasir (*sand*). Dari ketiga bagian tersebut jika hanya satu bagian saja, maka belum dapat mencerminkan jenis tanah. Lazimnya disebut dua bagian tanah yang terpenting. Segitiga fraksi ukuran butiran tanah terbagi atas 13 bidang yang menunjukkan masing – masing tekstur tanah. Sebagai contoh 35 % liat + 40 % debu + 25 % pasir termasuk tekstur tanah liat berliat, sedangkan 10 % liat + 5 % debu + 85 % pasir termasuk pasir berliat (Mega *et al.*,2010:10).

2.2.3 Konsistensi Tanah

Daya tarik menarik (kohesi) antara butir tanah dan tarik menarik (adhesi) butir tanah dengan benda lain merupakan suatu sifat fisika tanah dari konsistensi tanah. Struktur dan tekstur tanah menentukan ketahanan tanah terhadap gaya dari luar atau terhadap perubahan bentuk konsistensi tanah. Konsistensi tanah penting untuk menentukan cara pengolahan tanah yang efisien dan penetrasi akar tanaman di lapisan bawahan. Konsistensi tanah ditentukan dengan penyesuaian kandungan air tanah yaitu dalam keadaan basah, lembab atau kering (Surendro, 2015).

a. Tanah basah

Tanah basah terjadi karena kandungan air melebihi dari kapasitas air tanah. Keadaan basah konsistensi tanah dapat dibedakan menjadi dua yaitu berdasarkan kelekatan dan plastisitas. Kelekatan menunjukkan kekuatan adhesi tanah dengan benda lain, Plastisitas adalah sifat yang menunjukkan kemampuan tanah untuk membentuk gulungan. Tanah liat termasuk golongan tanah basah karena dalam kondisi lapangan, sebagian besar fraksi tanah diisi oleh air (Fiantis, 2017).

b. Tanah lembab

Kandungan air mendekati kapasitas air tanah dan dapat diuraikan menjadi lepas, sangat gembur, gembur, teguh, sangat teguh dan sangat teguh sekali.

c. Tanah kering

Tanah kering merupakan keadaan tanah kering angin yang menggambarkan tanah dengan keadaan yang memerlukan tenaga untuk hancur jika diremas sampai keadaan tanah yang tidak dapat hancur saat diremas dengan tenaga

(Fiantis, 2017: 41).

2.3 Likuifaksi

Fenomena Likuifaksi merupakan hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat adanya getaran. Maksud dari getaran dapat berupa getaran yang berasal dari gempa bumi maupun yang berasal dari pembebanan cepat lainnya. Sifat lapisan tanah berubah menjadi cairan ketika mengalami suatu getaran yang menyebabkan lapisan tanah tak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya (Soebowo *et al.*, 2009). Likuifaksi merupakan proses terjadi naiknya tekanan air pori dan menurunnya tekanan efektif tanah pada lapisan pasir yang jenuh air akibat gempa bumi tektonik. Lapisan tanah menjadi bersifat cair (*quick condition*) dengan tekanan air pori sama dengan tekanan total tanah, akibat hilangnya tekanan tanah (Hafid *et al.*, 2017). Air pori yang mengalami suatu getaran menyebabkan suatu tekanan di partikel – partikel tanah yang dapat mempengaruhi kepadatan tanah. Tekanan air pada tanah relatif rendah sebelum mengalami gempa bumi, tetapi akan meningkat setelah terjadi gempa bumi atau setelah menerima

getaran. Keadaan ini membuat partikel – partikel tanah dapat bergerak dengan mudah. Partikel tanah yang bergerak karna air tidak lagi memiliki kekuatan atau daya dukung, sehingga daya dukung tanah sepenuhnya berasal dari tegangan air pori (Mina *et al.*, 2018).

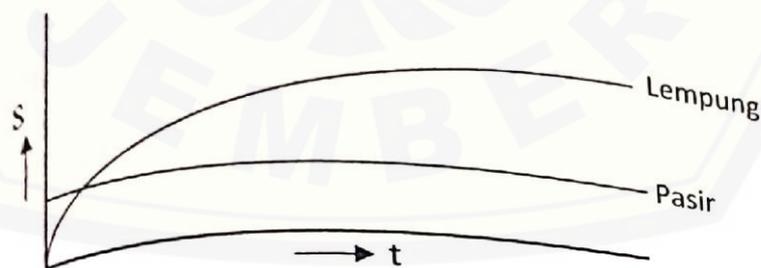
Porositas tanah merupakan proporsi ruang pori total (ruang kosong) yang terdapat dalam satuan volume tanah yang dapat ditempati oleh air dan udara, sehingga merupakan indikator kondisi drainase dan aerasi tanah. Tanah yang poreus berarti tanah yang cukup mempunyai ruang pori untuk pergerakan air dan udara masuk – keluar tanah secara leluasa (Hanafiah, 2012). Dalam masalah porositas persatuan volume tanah ini ada tiga fenomena yang perlu diperhatikan secara seksama, yaitu:

- a. Dominasi fraksi pasir akan menyebabkan terbentuknya sedikit pori – pori makro, sehingga luas permukaan yang disentuh bahan menjadi sangat sempit, sehingga daya pegangnya terhadap air sangat lemah. Kondisi ini menyebabkan air dan udara mudah masuk – keluar tanah, hanya sedikit air yang tertahan. Pada kondisi lapangan, sebagian besar ruang pori terisi oleh udara, sehingga pori – pori makro disebut juga pori aerasi atau dari segi kemudahan dilalui air (permeabilitas) disebut juga sebagai pori drainase (Surendro, 2015).
- b. Dominasi fraksi liat/ lempung, tanah liat akan menyebabkan terbentuknya banyak pori – pori mikro, sehingga luas permukaan sentuhnya menjadi sangat luas, yang menyebabkan daya pegang terhadap air sangat kuat. Kondisi ini menyebabkan air yang masuk ke pori – pori segera tertangkap dan udara sulit masuk. Ketika air masuk kedalam pori tanah, air akan tertarik ke permukaan liat, yang mendekat membentuk ikatan berkelompok. Dalam keadaan yang berkelompok energy bebas yang di keluarkan oleh air lebih rendah dibandingkan dengan molekul air individu yang berarti kelompok molekul air kurang bebas bergerak. Pada kondisi lapangan, sebagian besar ruang pori terisi air, pori – pori mikro disebut juga pori kapiler (Wahyudi, 2012). Tanah lempung memiliki nilai porositas yang

tinggi yaitu 45% dan permeabilitas yang rendah sehingga tidak mudah dilalui oleh air. Tanah ini tergolong kedalam jenis tanah yang banyak mengandung air dan pada jenis tanah ini merupakan tempat air tanah atau akuifer (Lesmono *et al.*,2015).

- c. Domisili fraksi debu akan membentuk pori – pori meso dalam jumlah sedang, yang menyebabkan luas bidang sentuhnya menjadi cukup luas, dan menghasilkan daya pegang terhadap air yang lumayan kuat. Keadaan seperti ini menyebabkan air dan udara cukup mudah masuk – keluar tanah, sehingga air akan tertahan. Dalam kondisi lapangan, sebagian besar ruang pori terisi oleh udara dan air dalam jumlah yang seimbang, sehingga pori – pori meso termasuk juga pori drainase, sehingga cukup permeabel (Syahbana dan Sugianti, 2013).

Dari ketiga fenomena tersebut, terlihat bahwa porositas mencerminkan tingkat kesarangan tanah untuk dilalui aliran massa air (permeabilitas, jarak per waktu) atau kecepatan aliran air untuk melewati masa tanah (perlokasi, waktu per jarak). Perbandingan besarnya penurunan (s) dan waktu penurunan (t) terhadap beban yang sama pada pasir dan liat dapat dilihat pada gambar 2.8. Berdasarkan gambar 2.8 dapat diketahui bahwa saat terjadi getaran penurunan pada tanah pasir berlangsung seketika dan dalam waktu yang cepat.



Gambar 2.8 Hubungan s dan t untuk tanah pasir dan liat

(sumber: Surendro.,2015)

(Surendro, 2015).

Berbeda dengan daerah yang kondisi lingkungannya adalah karst, lingkungan dengan kondisi yang dikelilingi gunung kapur kemungkinan kecil untuk berpotensi terjadinya likuifaksi. Pada saat terjadi gempa dengan kekuatan besar perubahan lanskap karst yaitu akan terjadinya tanah longsor. Karst memiliki karakteristik aliran air yang khas yang disebabkan oleh pelarutan batuan yang intensif. Ketersediaan air di daerah karst sangat tergantung pada jumlah debit air di musim hujan dan kemarau. Struktur akuifer di daerah karst sangat mempengaruhi tingkat penyerapan dan kualitas air (Astutik *et al.*, 2018).

2.3.1 Syarat dan Faktor terjadinya Likuifaksi

Peristiwa likuifaksi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh sifat keteknikan tanah, kondisi lingkungan geologi dan karakteristik gempa bumi. Beberapa faktor yang harus di pertimbangkan anatara lain ukuran butir, muka air tanah dan percepatan getaran tanah maksimum. Secara umum syarat terjadinya likuifaksi pada suatu wilayah adalah sebagai berikut:

- a) Lapisan tanah berupa tanah pasir yang jenuh air
- b) Lapisan tanah bersifat lepas
- c) Terjadi gempa bermagnitudo $> 5,0$ dengan kecepatan gempa lebih dari $0.1g$

(Soebowo *et al.*, 2009).

Menurut Widodo (2012) faktor – faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi yaitu:

1) Karakteristik getaran

Getaran yang mempengaruhi likuifaksi merupakan getaran dengan kekuatan amplitude $> 7SR$ atau mengacu kepada skala MMI VII – X yang di tetapkan oleh BMKG. Arah getaran yang digunakan yaitu secara bolak – balik dengan langkah yang tetap.

2) Jenis tanah

Jenis tanah yang menyebabkan terjadinya likuifaksi adalah tanah pasir jenuh air dengan gradasi butiran kasar dan memiliki struktur tanah pasir halus

3) Muka air tanah

Muka air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya likuifaksi. Muka air tanah yang dangkal dapat dengan mudah naik ke permukaan yang dapat dengan mudah membuat pasir kehilangan keseimbangan yang menyebabkan terjadi likuifaksi. Hariyatmo (2008) juga menyebutkan suatu daerah yang memiliki ketinggian muka air tanah dangkal berpengaruh lebih besar dalam terjadinya likuifaksi.

4) Distribusi diameter butir

Diameter butiran pasir yang menyebabkan likuifaksi yaitu berdiameter lubang sekitar 0,850 mm atau berdasarkan hasil ayakan no. 20. Diameter tersebut termasuk diameter yang kecil yang nantinya menghasilkan tekstur tanah yang halus

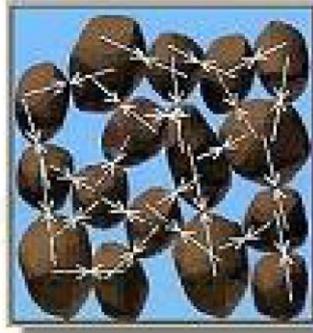
(Widodo, 2012).

Peneliti menyatakan bahwa semakin kecil diameter butiran tanah maka akan semakin kecil besar penurunan tanah yang akan terjadi. Penurunan yang terjadi ditunjukkan dari hasil penurunan muka tanah bahwa pasir gradasi buruk, pasir halus lebih besar mengalami penurunan dibandingkan dengan pasir sedang, kasar dan pasir gradasi baik. Hasil pengukuran penurunan muka tanah dengan kenaikan air pori menunjukkan bahwa semakin besar percepatannya maka penurunan muka tanah akan semakin besar dan kenaikan air pori juga semakin besar (Hasibuan *et al*,2018).

2.3.2 Proses terjadinya Likuifaksi

Konsep yang harus dipahami dalam proses terjadinya likuifaksi yaitu bahwa suatu endapan tanah terdiri dari partikel – partikel. Setiap partikel endapan tanah bila diperhatikan memiliki letak yang saling berdekatan, yang menyebabkan setiap partikel memiliki ikatan dengan partake yang lain, dengan adanya ikatan antara partikel – partikel, membuat tanah memiliki kekuatan untuk memikul beban di atasnya. Seluruh partikel dalam tanah secara bersamaan akan menyanggah beban yang berada di atas tanah. Beban yang dipikul oleh partikel

akan disalurkan ke lapisan batuan dasar pada bagian bawah lapisan tanah (Siahaan, 2015).



(Sumber :Mabrur,2009)

Gambar 2.9 Kondisi Partikel Tanah saat Normal

Partikel tanah yang menerima tekanan berupa getaran secara tiba – tiba, menyebabkan air yang ada di tanah terdesak sehingga tekanan air akan meningkat untuk dapat mencari jalan keluar. Pada saat terjadi gempa, air tidak memiliki waktu untuk mencari jalan keluar dari tanah melalui rongga – rongga tanah, sebagai gantinya air yang tidak dapat keluar dari tanah, mendorong partikel – partikel tanah yang mengakibatkan partikel tanah yang awalnya saling berikatan menjadi saling menjauh. Partikel tanah dengan kondisi seperti ini membuatnya tidak dapat mendistribusikan beban lagi dengan maksimal (Aldi, 2011).



(Sumbe: Mabrur, 2009)

Gambar 2.10 Kondisi partikel Tanah Saat mengalami getaran

Partikel tanah yang saling menjauh menyebabkan pemikulan beban menjadi tidak stabil, dikarenakan sebagian besar beban dipikul oleh air. Tanah yang tidak stabil diasumsikan sebagai kapal yang mengapung diatas air. Air yang tidak dapat memikul beban kapal, akan menyebabkan kapal tenggelam ke dalam air. Saat

mengalami likuifaksi tanah tidak mampu menahan suatu beban dari gedung/bangunan di atasnya, sehingga bangunan tersebut akan tenggelam ke dalam tanah (Muntohar, 2012).

Kajiannya dengan kekuatan tanah, tanah liat mengandalkan kohesi sebagai acuan kekuatannya sedangkan tanah pasir mengandalkan bidang kontak antar butiran pasir. Tanah liat jika jarak butiran semakin kecil maka kohesinya akan semakin besar karena jarak antar partikel berbanding terbalik dengan kohesi, pada tanah pasir bila semakin kecil jarak butiran tanah maka akan semakin besar bidang kontak antar partikel tanah. Cara untuk memperkecil jarak butiran tanah yaitu dengan memadatkan tanah dengan ditekan atau dengan diberikan suatu getaran (Mina *et al.*, 2018).

2.3.3 Dampak Likuifaksi

Dampak yang ditimbulkan dari terjadinya likuifaksi adalah:

- a) Terjadinya penurunan dan hilangnya kekuatan tanah
- b) Terjadinya pergeseran tanah
- c) Terjadinya rembesan air tanah melalui rekahan
- d) Goncangan permukaan tanah
- e) Semburan pasir
- f) Kelongsoran lereng

(Warman dan Jumas, 2013).

Likuifaksi dapat dicegah atau dapat diperkecil kemungkinannya dengan cara rekayasa lahan. Menurut Wesley (2017) memampatkan tanah pasir dan mencampur tanah pasir dengan tanah liat di atasnya adalah solusi untuk memperkecil terjadinya likuifaksi selain itu pada setiap bangunan harus memiliki pondasi yang kuat.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kualitatif dengan pemodelan likuifaksi menggunakan alat uji *shaking table* guna mengidentifikasi potensi terjadinya likuifaksi pada komposisi tanah dan ketinggian muka air tanah.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan dalam melaksanakan penelitian adalah halaman terbuka rumah peneliti. Pemilihan Lokasi didasarkan pada pengujian pemodelan yang dilakukan membutuhkan tempat yang luas dan juga tempat yang dapat digunakan untuk penyimpanan tanah dalam jumlah besar.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada semester ganjil Tahun Akademik 2019/2020

3.3 Variabel penelitian dan Definisi Operasional Variabel

3.3.1 Variabel Penelitian

- a) Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu jenis tanah, dan ketinggian muka air tanah
- b) Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu perubahan penurunan muka tanah dan perubahan kenaikan muka air tanah
- c) Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu karakteristik getaran, waktu getaran, distribusi diameter butiran dan tekstur tanah, dan muka air tanah.

3.3.2 Definisi Operasional Variabel

Definisi operasional variabel merupakan uraian yang membatasi setiap istilah atau kata kunci yang digunakan dalam penelitian dengan makna tunggal dan terukur. Hal ini digunakan untuk menghindari kesalahan penafsiran beberapa variabel yang digunakan dalam penelitian. Secara operasional variabel didefinisikan sebagai berikut:

a. Jenis tanah

Jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanah pasir, tanah liat dan tanah campuran. Pada penelitian 1 semua tanah di gunakan dalam penelitian, sedangkan pada penelitian 2 hanya tanah pasir saja yang digunakan. Semua tanah memiliki massa yang sama baik pada penelitian 1 maupun penelitian 2 yaitu sebesar 12 kg. Tanah yang digunakan dalam penelitian menggunakan tanah dengan keadaan yang kering. Jenis tanah pasir adalah pasir pantai, pasir pantai digunakan karena menurut Wahyudi (2012) memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasir sungai tetapi berdiameter lebih kecil dibandingkan pasir sungai

b. Ketinggian muka air tanah

Ketinggian muka air tanah dalam penelitian ini diasumsikan dengan besarnya volume air. Volume air yang digunakan yaitu 4L, 4,5L dan 5L. Ketinggian muka air tanah dalam diasumsikan dengan volume air 4L, ketinggian muka air tanah sedang diasumsikan dengan volume air 4,5L dan ketinggian muka air tanah dalam diasumsikan dengan volume air 5L. Ketinggian muka air tanah yang berbeda digunakan pada penelitian ke 2, sedangkan pada penelitian 1 ketinggian muka air tanah yang digunakan adalah volume 4L

c. Karakteristik dan waktu getaran

Getaran yang digunakan merupakan pengansumsian dari gempa bumi. Getaran memiliki amplitudo $>7SR$ dan mengacu pada skala MMI VII – X. Waktu getaran yang digunakan dalam penelitian yaitu 30 sekon. Setiap 5 sekon akan dilihat nilai dari penurunan tanah dan juga kenaikan air tanah. Untuk melihat penurunan dan kenaikan menggunakan secara manual yaitu

dengan memberikan garis seperti pada wadah bening yang dipakai, selain itu juga dengan melakukan record video untuk mempermudah mengamati.

d. Distribusi diameter butiran dan tekstur tanah

Tanah yang digunakan merupakan tanah dengan keadaan yang kering, diameter tanah semuanya sama yaitu berdasarkan hasil ayakan no. 20 yang berdiameter lubang 0,850 mm. dengan tekstur tanah yang halus

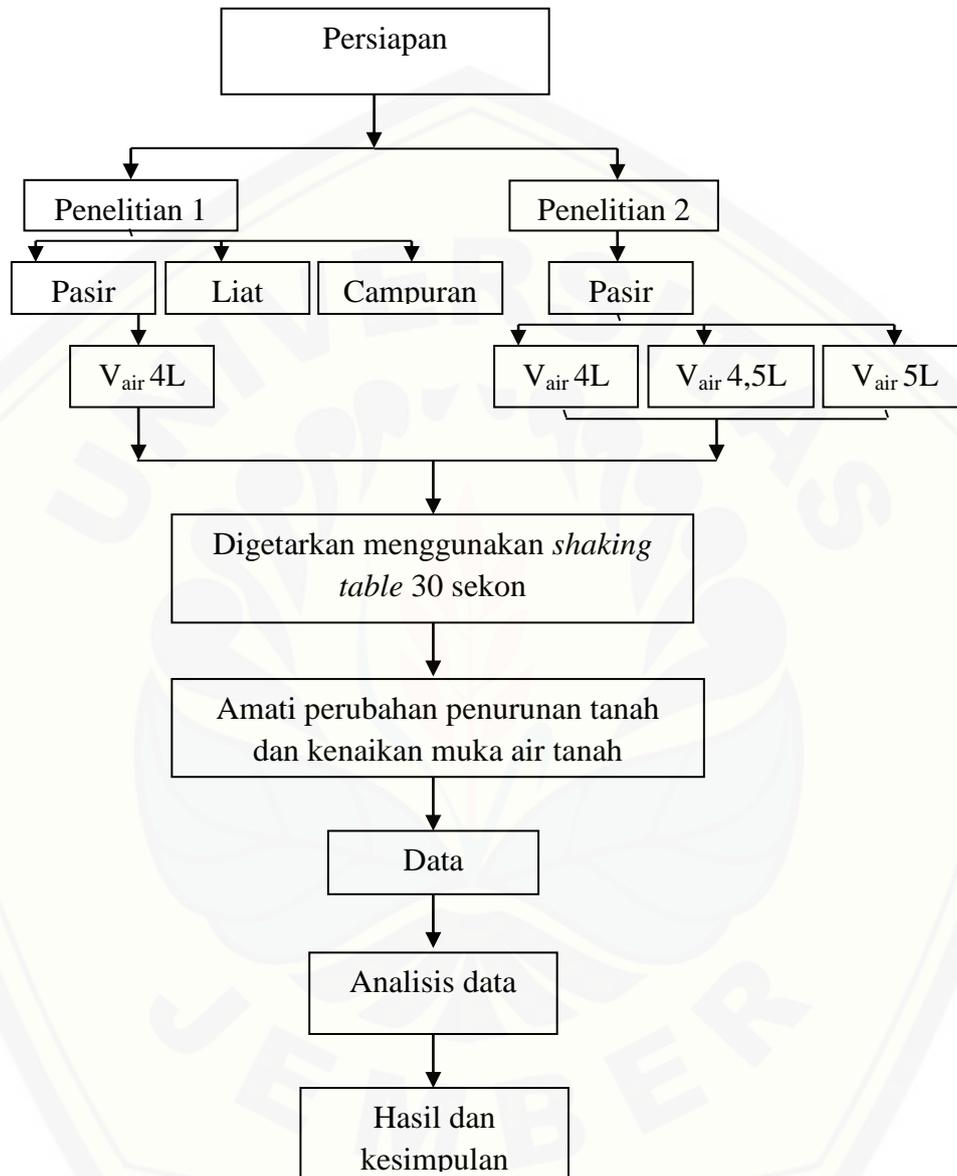
3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Tanah Pasir pantai digunakan untuk bahan pemodelan
- b) Tanah Liat digunakan untuk bahan pemodelan
- c) Air digunakan untuk pemodelan muka air tanah
- d) Ayakan digunakan untuk menyeragamkan ukuran butiran tanah
- e) Kotak Plastik bening digunakan untuk wadah/tempat tanah dan air dalam pemodelan
- f) *Shaking table* digunakan untuk meja getar pemodelan gempa bumi
- g) *Stopwatch* digunakan untuk mengatur waktu getaran
- h) Neraca digunakan untuk mengukur massa tanah dan massa air
- i) Miniatur bangunan digunakan untuk beban diatas tanah
- j) *Vibration meter* digunakan untuk menghitung kekuatan getaran
- k) Kamera digunakan untuk pengambilan video pemodelan

3.5 Alur Penelitian

Penelitian ini mempunyai alur sebagai berikut:



Gambar 3.1 Bagan alur penelitian

3.6 Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi menjadi 2 metode yaitu metode pengumpulan data primer yang diperoleh dari hasil observasi di Laboratorium dan metode pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari artikel media massa, jurnal dan buku literatur.

Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian pertama guna untuk mengetahui jenis tanah yang berpotensi Likuifaksi
 - 1) Menyiapkan semua alat dan bahan
 - 2) Menyiapkan *shaking table* yang telah diatur getarannya dengan magnitudo $>7SR$, meletakkan wadah plastic yang akan digunakan sebagai tempat sampel dan untuk mengukur perubahan ketinggian muka air tanah dan perubahan penurunan tanah keatas *shaking table*
 - 3) Mengisi wadah dengan sampel tanah (pasir, liat dan campuran) bermassa 12kg yang telah dimampatkan dan meletakkan besi sebagai miniatur bangunan yang memiliki beban
 - 4) Mengisi wadah dengan air yang memiliki volume 4L sebagai air tanah, air dituangkan di bagian tanah yang paling rendah
 - 5) Menyalakan *shaking table* agar menimbulkan getaran yang dapat menggetarkan sampel tanah dalam wadah dalam waktu 30 sekon
 - 6) Mengamati perubahan ketinggian muka air tanah dan perubahan penurunan tanah setiap selang waktu 5 sekon
 - 7) Menuliskan data pengamatan
 - 8) Melakukan analisis data
 - 9) Membahas hasil analisis data
- b. Penelitian kedua guna untuk mengetahui ketinggian muka air tanah yang berpotensi Likuifaksi
 - 1) Menyiapkan semua alat dan bahan
 - 2) Menyiapkan *shaking table* yang telah diatur getarannya dengan magnitudo $>7SR$, meletakkan wadah plastic yang akan digunakan sebagai tempat sampel

dan untuk mengukur perubahan ketinggian muka air tanah dan perubahan penurunan tanah keatas *shaking table*

- 3) Mengisi wadah dengan sampel tanah pasir bermasa 12kg yang telah dimampatkan dan meletakkan besi sebagai miniature bangunan yang memiliki beban
- 4) Mengisi wadah dengan air sampel (yang memiliki volume 4L,4,5L, dan 5L) sebagai air tanah, air dituangkan di bagian tanah yang paling rendah
- 5) Menyalakan *shaking table* agar menimbulkan getaran yang dapat menggetarkan sampel tanah dalam wadah dalam waktu 30 sekon
- 6) Mengamati perubahan ketinggian muka air tanah dan perubahan penurunan tanah setiap selang waktu 5 sekon
- 7) Menuliskan data pengamatan
- 8) Melakukan analisis data
- 9) Membahas hasil analisis data

3.7 Teknik Analisi Data

Data yang diperoleh dari penelitian pemodelan di Laboratorium selanjutnya akan dianalisis guna mendapatkan kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang ada. Data yang diperoleh lalu ditulis kedalam tabel penelitian yang disediakan.

Tabel 3.1 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi Likuifaksi pada Tanah Pasir

Jenis tanah	V air (L)	M tanah (Kg)	T (s)	Penurunan tanah (cm)	Kenaikan air pori (cm)	Keterangan
Pasir	4	12	5			
			10			
			15			
			20			
			25			
			30			

Tabel 3.2 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi Likuifaksi pada Tanah Liat

Jenis tanah	V air (L)	M tanah (Kg)	T (s)	Penurunan tanah (cm)	Kenaikan air pori (cm)	Keterangan
Liat	4	12	5			
			10			
			15			
			20			
			25			
			30			

Tabel 3.3 Pemodelan jenis tanah yang berpotensi Likuifaksi pada Tanah Campuran Pasir dan Liat

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (cm)	Kenaikan air pori (cm)	Keterangan
campuran	4L	12 kg	5			
			10			
			15			
			20			
			25			
			30			

Tabel 3.4 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berpotensi Likuifaksi dengan V air 4 L

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (cm)	Kenaikan air pori (cm)	Keterangan
pasir	4L	12 kg	5			
			10			
			15			
			20			
			25			
			30			

Tabel 3.5 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berpotensi Likuifaksi dengan V air 4.5

L

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (cm)	Kenaikan air pori (cm)	Keterangan
pasir	4.5L	12 kg	5			
			10			
			15			
			20			
			25			
			30			

Tabel 3.6 Pemodelan ketinggian muka air tanah yang berpotensi Likuifaksi dengan V air 5

L

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (cm)	Kenaikan air pori (cm)	Keterangan
pasir	5L	12 kg	5			
			10			
			15			
			20			
			25			
			30			

Data yang telah diperoleh akan dianalisis dan dikaji jenis pasir dan volume air dengan ketinggian mana yang lebih cepat dan lebih besar mengalami pergeseran tanah dan kenaikan tekanan air tanah, dimana saat tekanan air tanah mulai naik maka tanah jenuh akan berubah menjadi Liquid yang nantinya akan membuat tanah mengalami pergerakan dan mengakibatkan runtuhnya yang dapat merusak struktur tanah maupun merusak bangunan di atasnya. Analisis yang didapatkan juga akan dikaji dengan literatur – literatur yang telah ada sebelumnya guna melihat keakuratan dari data hasil penelitian.

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

- a. Pemodelan likuifaksi menggunakan alat uji *shaking table* berdasarkan komposisi tanah menunjukkan bahwa tanah pasir yang merupakan tanah jenuh air berpotensi terjadinya likuifaksi, sedangkan tanah liat dan campuran tidak berpotensi terjadinya likuifaksi
- b. Pemodelan likuifaksi menggunakan alat uji *shaking table* berdasarkan ketinggian muka air tanah menunjukkan tanah pasir dengan volume 5L yang diasumsikan sebagai daerah dengan ketinggian muka air tanah dangkal, cenderung mengalami likuifaksi yang dahsyat dan lebih cepat dibandingkan dengan tanah pasir yang bervolume 4L dan 4.5L.

5.2 Saran

- a. Bagi warga diharapkan tetap waspada terhadap keadaan lingkungan sekitar, pilihlah lahan yang memang bagus konstruksi tanahnya untuk sebuah bangunan, bila daerahnya termasuk jenuh air sebaiknya menjadikan lahan tersebut sebagai lahan yang tidak jenuh air dengan cara pencampuran
- b. Dalam bidang pendidikan fisika, penelitian ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran bagi siswa untuk melihat fenomena bencana alam
- c. Untuk peneliti lain, penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk melakukan penelitian selanjutnya atau dapat mengembangkan lebih lanjut dengan pokok bahasan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldi, M. 2011. *Variasi Beban dan Percepatan Getaran untuk Potensi Likuifaksi pada Pasir dengan Uji Model Laboratorium*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Astutik, S., FA.Ikhsan, S. Kantun, dan B. Apriyanto. 2018. Bahaya perubahan bentang alam dan aona hidrogeologi selatan gunung karst dampak aktivitas alam dan manusia di daerah Jember. *IOP Conf. Seri: Bumi dan Ilmu Lingkungan*. 243(1): 1755 – 1315.
- Fiantis, D. 2017. *Morfologi dan Klasifikasi Tanah*. Padang: LPTIK Universitas Andalas.
- Hafid, P., Supriyadi, N. Kholifatun, Tahlisiamita, dan F. Rohmaniyah. 2017. Percepatan tanah berdasarkan data Mikroseismik wisata bantir sumowono Semarang. *Unnes Physics Journal*. 6(1): 54 – 59.
- Hanafiah, K. A. 2012. *Dasar – dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Hardiyatmo, H. C. 2008. *Mekanika Tanah I*. Edisi Ke – 1. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hasibuan, P., A. I. Putra, dan S. A. Nugroho. 2018. Studi potensi Likuifaksi timbunan pasir dengan gradasi ukuran butiran diatas tanah lunak. *Jom FTEKNIK*. 5(1): 1 – 8.
- Hasmar, H. A. H. 2013. *Dinamika Tanah dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: UII Press.
- Ibrahim, G. dan Subardjo. 2001. *Buku Gempa Bumi*. Jakarta: Penerbit BMKG.
- Ilahi, R., A. I. Putra, dan M. Yusa. 2018. Potensi Likuifaksi pada tanah pasir di atas tanah gambut dengan variasi kuari melalui Uji Model Laboratorium. *Jom FTEKNIK*. 5(1): 1 – 13.
- Irsyam. M., I.W. Sengara, F. Aldiamar, S. Widiyantoro, W. Triyoso, D. H. Natawidjaja, E. Kertapati, I. Meilano, Suhardjono, M. Asrurifak, dan M.

- Ridwan. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa 2010*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Lesmono, A.D., Asfiannisa, dan Yushardi. 2015. Pendugaan intrusi air laut dalam persiapan pengeboran sumur dalam dengan Metode Geolistrik 2D konfigurasi *wenner* di desa Keting Kecamatan Jombang Kabupaten Jember. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 3(4): 390 – 396.
- Lin, M. M. dan Rebecca. 2018. Gempa, tsunami dan likuifaksi: Rangkaian bencana di Palu yang perlu anda ketahui. <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-45832237>. [Diakses pada 8 Agustus 2019].
- Mega, I. M., I. N. Dibia, I. G. P. R. Adi. dan T. B. Kusmiyarti. 2010. *Klasifikasi Tanah dan Kesesuaian Lahan*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Mina, E., R. Indera, dan Sudirman. 2018. Analisa potensi Likuifaksi berdasarkan data SPT (Studi kasus proyek pembangunan gedung baru Untirta Sindang Sari). *Jurnal Fondasi*. 7(1): 11 – 21.
- Mufida, Asmaul., B. J. Santosa, dan D. D. Warnana. 2013. Profiling kecepatan gelombang geser (Vs) Surabaya berdasarkan pengolahan data Mikrotremor. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2(2).
- Muntohar, A. A. 2012. Studi parametrik potensi Likuifaksi dan penurunan permukaan tanah berdasarkan Uji Sondir. *16th annual scientific meeting*. 4(2012): 139 – 144.
- Prasad, S. K., I. Towhata, G.P. Chandradhara, dan P. Nanjundaswamy. 2004. Shaking Table Tests In Earthquake Geotechnical Engineering. *Current Science*. 87(10) : 1398 – 1404.
- Siahaan, S. P. 2015. *Percobaan Potensi Likuifaksi pada Tanah Pasir Seragam dengan Pemodelan Alat di Laboratorium*. Padang: Universitas Andalas.
- Siswadi, A. 2018. Penelitian LIPI: Tanah cekung Bandung tidak berpotensi Likuifaksi. <https://tekno.tempo.co/read/1136189/peneliti-lipi-tanah-cekungan-bandung-tidak-berpotensi-likuifaksi>. [Diakses pada 8 Agustus 2019]
- Soebowo, E., A. Tohari, dan D. Sarah. 2009. Potensi Likuifaksi akibat gempa bumi berdasarkan data CPT dan N – SPT Di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 19(2): 85 – 97.

- Soehaimi, A. 2008. Seismotektonik dan Potensi kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*. 3(4): 227 – 240.
- Soil Survey Staff. 2014. *Kunci Taksonomi Tanah*. Edisi Ketiga. Jakarta: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Sunarjo., M. T. Gunawan. dan S. Pribadi. 2012. *Gempa Bumi*. Edisi Populer. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Surendro, B. 2015. *Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Penerbit CV. Andi Offset.
- Syahbana, A. J., dan K. Sugianti. 2013. Pemodelan 2D perubahan tekanan air pori hubungannya dengan Likuifaksi: Studi Kasus Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. 4(3): 163 – 177.
- Wahyudi, Y. 2012. Perbandingan Mortar Berpasir Pantai dan Sungai. *Media Teknik Sipil*. 10(1):70 – 79
- Warman, H., dan D. Y. Jumas. 2013. Kajian potensi Likuifaksi pasca gempa dalam rangka Mitigasi Bencana di Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 9(2): 1 – 19.
- Wesley, I.D. 2017. *Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Penerbit CV. Andi Offset.
- Widodo, P. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pelajar.
- Vesariany, R. 2012. *Potensi Likuifaksi Pada Pasir Ditinjau Dari Gradasi, Ukuran butiran, Dan Kandungan Air Dengan Uji Model Laboratorium*. Pekanbaru: Universitas Riau.

Lampiran 1. Matrik Penelitian

Judul	Rumusan Masalah	Tujuan	Variabel	Data dan Teknik Pengambilan Data	Metode Penelitian
<p>Pemodelan Likuifaksi dengan Menggunakan Alat Uji Shaking Table untuk Menganalisis komposisi Tanah yang Berpotensi Likuifaksi</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimanakah pemodelan potensi Likuifaksi menggunakan alat uji <i>Shaking Table</i> berdasarkan komposisi tanah? 2. Bagaimanakah pemodelan potensi Likuifaksi menggunakan alat uji <i>Shaking Table</i> berdasarkan ketinggian muka air tanah? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menganalisis pemodelan potensi Likuifaksi menggunakan alat uji <i>Shaking Table</i> berdasarkan komposisi tanah 2. Menganalisis pemodelan potensi Likuifaksi menggunakan alat uji <i>Shaking Table</i> berdasarkan ketinggian muka air tanah 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabel bebas : Jenis tanah dan ketinggian muka air tanah • Variabel terikat: Perubahan penurunan muka tanah dan perubahan kenaikan muka air tanah • Variabel kontrol: Karakteristik getaran, waktu getaran, distribusi diameter butiran dan tekstur tanah, dan muka air tanah 	<ul style="list-style-type: none"> • Data : <ol style="list-style-type: none"> a. Data diperoleh dari hasil pengamatan saat melakukan pemodelan likuifaksi. b. Bahan rujukan diperoleh dari buku pustaka/literatur yang digunakan. • Teknik pengambilan data : Eksperimen di Laboratorium dengan alat uji shaking table 	<ol style="list-style-type: none"> a. Jenis penelitian: Deskriptif Kualitatif b. Metode pengumpulan data : Pemodelan, Observasi dan dokumentasi c. Instrumen: Praktikum di Laboratorium dengan alat uji shaking table

Lampiran 2. Alat dan bahan

- *Shaking table*



- **Dynamo**



- **Ger box**



- **Air**



- **Pasir**



- **Liat**



- **Campuran**



- **Beban**



Lampiran 3 Pengambilan data penelitian

- Tanah pasir



- Tanah liat



- Tanah campuran



Lampiran 4. Data Hasil Penelitian

1. Data pemodelan jenis tanah yang berpotensi likuifaksi

a. Pasir

- Percobaan 1

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.035	0
			10	0.047	0
			15	0.05	0
			20	0.052	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 2

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.033	0
			10	0.045	0
			15	0.05	0
			20	0.055	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 3

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.03	0
			10	0.047	0
			15	0.049	0
			20	0.052	0
			25	0.056	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 4

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.035	0
			10	0.047	0
			15	0.05	0
			20	0.052	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 5

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.035	0
			10	0.045	0
			15	0.05	0
			20	0.052	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

b. Liat

- Percobaan 1

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Liat	4L	12 kg	5	0.035	0.02
			10	0.054	0.03
			15	0.065	0
			20	0.075	0
			25	0.08	0
			30	0.08	0

- Percobaan 2

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Liat	4L	12 kg	5	0.035	0.02
			10	0.055	0.03
			15	0.065	0.032
			20	0.074	0
			25	0.079	0
			30	0.083	0

- Percobaan 3

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Liat	4L	12 kg	5	0.03	0.02
			10	0.054	0.03
			15	0.065	0
			20	0.075	0
			25	0.08	0
			30	0.08	0

- Percobaan 4

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Liat	4L	12 kg	5	0.032	0.02
			10	0.054	0.03
			15	0.06	0
			20	0.077	0
			25	0.082	0
			30	0.082	0

- Percobaan 5

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Liat	4L	12 kg	5	0.035	0.02
			10	0.054	0.03
			15	0.065	0
			20	0.075	0
			25	0.08	0
			30	0.082	0

c. Campuran

- Percobaan 1

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Campuran	4L	12 kg	5	0.03	0.024
			10	0.07	0.04
			15	0.075	0
			20	0.085	0
			25	0.086	0
			30	0.085	0

- Percobaan 2

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Campuran	4L	12 kg	5	0.03	0.024
			10	0.07	0.038
			15	0.075	0
			20	0.085	0
			25	0.086	0
			30	0.086	0

- Percobaan 3

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Campuran	4L	12 kg	5	0.032	0.025
			10	0.068	0.04
			15	0.075	0
			20	0.085	0
			25	0.085	0
			30	0.085	0

- Percobaan 4

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Campuran	4L	12 kg	5	0.03	0.023
			10	0.07	0.043
			15	0.075	0
			20	0.08	0
			25	0.086	0
			30	0.086	0

- Percobaan 5

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.03	0.024
			10	0.07	0.04
			15	0.075	0
			20	0.084	0
			25	0.085	0
			30	0.085	0

2. Data pemodelan kenaikan air tanah yang berpotensi likuifaksi

a. Volume 4L

- Percobaan 1

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.035	0
			10	0.047	0
			15	0.05	0
			20	0.052	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 2

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.033	0
			10	0.045	0
			15	0.05	0
			20	0.055	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 3

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.03	0
			10	0.047	0
			15	0.049	0
			20	0.052	0
			25	0.056	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 4

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.035	0
			10	0.047	0
			15	0.05	0
			20	0.052	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

- Percobaan 5

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.035	0
			10	0.045	0
			15	0.05	0
			20	0.052	0
			25	0.055	0.01
			30	0.057	0.015

b. Volume 4,5L

- Percobaan 1

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4,5L	12 kg	5	0.048	0
			10	0.05	0
			15	0.055	0.02
			20	0.06	0.022
			25	0.063	0
			30	0.075	0

- Percobaan 2

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4,5L	12 kg	5	0.046	0
			10	0.05	0
			15	0.054	0.02
			20	0.06	0.025
			25	0.065	0
			30	0.075	0

- Percobaan 3

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Campuran	4,5L	12 kg	5	0.045	0
			10	0.05	0
			15	0.055	0.02
			20	0.06	0.022
			25	0.064	0
			30	0.072	0

- Percobaan 4

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Campuran	4,5L	12 kg	5	0.048	0
			10	0.05	0
			15	0.055	0.02
			20	0.06	0.025
			25	0.063	0
			30	0.07	0

- Percobaan 5

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Campuran	4L	12 kg	5	0.048	0
			10	0.05	0
			15	0.053	0.02
			20	0.06	0.022
			25	0.06	0
			30	0.075	0

c. Volume 5L

- Percobaan 1

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	5L	12 kg	5	0.05	0.024
			10	0.064	0.04
			15	0.07	0
			20	0.07	0
			25	0.072	0
			30	0.075	0

- Percobaan 2

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	5L	12 kg	5	0.05	0.025
			10	0.065	0.04
			15	0.068	0
			20	0.07	0
			25	0.072	0
			30	0.075	0

- Percobaan 3

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	5L	12 kg	5	0.05	0.024
			10	0.064	0.042
			15	0.07	0
			20	0.069	0
			25	0.072	0
			30	0.076	0

- Percobaan 4

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.052	0.025
			10	0.065	0.038
			15	0.07	0
			20	0.07	0
			25	0.075	0
			30	0.075	0

- Percobaan 5

Jenis tanah	V air	M tanah	t	Penurunan tanah (m)	Kenaikan air pori (m)
Pasir	4L	12 kg	5	0.05	0.024
			10	0.064	0.04
			15	0.07	0
			20	0.07	0
			25	0.073	0
			30	0.075	0