

SKRIPSI

**EVALUASI PENURUNAN LAPISAN PASIR DENGAN
PERKUATAN CERUCUK KAYU AKIBAT BEBAN GEMPA**

Disusun dan diajukan oleh:

**ARESTO YANTO SAMSOR
D011 19 1125**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

EVALUASI PENURUNAN LAPISAN PASIR DENGAN PERKUATAN CERUCUK KAYU AKIBAT BEBAN GEMPA

Disusun dan diajukan oleh

ARESTO YANTO SAMSOR
D011 19 1125

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Tri Harianto, ST., MT., IPU., AER
NIP: 197203092000031002

Pembimbing Pendamping



Prof. Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, Msc., ph.D
NIP: 196007301986031003

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Aresto Yanto Samsor

NIM : D011191125

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Evaluasi Penurunan Lapisan Pasir Dengan Perkuatan Cerucuk Kayu Akibat
Beban Gempa ”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 23 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Aresto Yanto Samsor

ABSTRAK

ARESTO YANTO SAMSOR. *Evaluasi Penurunan Lapisan Pasir Dengan Perkuatan Cerucuk Kayu Akibat Beban Gempa.* (Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT dan Prof. Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D)

Likuifaksi adalah suatu fenomena atau bencana alam yang terjadi oleh tanah yang mengalami pergeseran akibat hilangnya kekuatan tanah tersebut. Gempa bumi adalah salah satu penyebab terjadinya likuifaksi dimana tekanan air pori tanah tersebut naik yang menyebabkan tekanan air pori lebih besar di bandingkan tegangan efektif tanah tersebut. Ketika tegangan efektif kecil atau sama dengan nol maka tekanan air pori akan mendekati angka tegangan total atau sama dengan tegangan total. Salah satu metode penanganan untuk tanah pasir yang berpotensi likuifaksi adalah meningkatkan daya dukung tanah. Sehingga pengujian penggunaan cerucuk kayu sebagai salah satu cara metode untuk menangani tanah berpotensi likuifaksi diharapkan dapat meningkatkan daya dukung tanah yang berpotensi likuifaksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besaran penurunan lapisan pasir akibat beban gempa dengan penggunaan perkuatan cerucuk kayu dan perkuatan cerucuk kayu + PVD (Hybrid pile). Metode pengujian yang digunakan yaitu uji skala laboratorium dengan melakukan uji model perkuatan tanah pada tanah pasir lepas dengan kepadatan relatif 40% dengan beban seismik selama 37 detik dengan percepatan $PGA = 0,3g$ Frekuensi 0,78 Hz. hal tersebut dikarenakan adanya tahanan pada ujung cerucuk dan gaya geser pada selimut cerucuk kayu. Sedangkan untuk uji model perkuatan cerucuk + PVD Hybrid pile mampu mereduksi penurunan lebih besar yaitu dengan penurunan sebesar 0.5 cm atau reduksi penurunan 94.51% arah Y dan 0.3 cm atau reduksi penurunan 97.00 % apabila dibandingkan dengan sampel tanpa perkuatan. Merujuk dari hasil pengujian akibat beban seismik dengan $PGA = 0.3 g$ dan frekuensi 0.78 Hz diperoleh bahwa perkuatan cerucuk kayu yang diberikan pada tanah pasir yang berpotensi likuifaksi dapat memberikan daya dukung tambahan. Hal tersebut dapat diketahui dari penurunan yang terjadi akibat beban yang diberikan lebih kecil apabila dibandingkan dengan tanah tanpa perkuatan yaitu sebesar 2.93 cm atau mereduksi penurunan 66.58 % arah Y dan 2.7 cm atau mereduksi penurunan 73%.

Kata Kunci: Likuifaksi, Cerucuk kayu, *Hybrid Pile*, Penurunan Tanah

ABSTRACT

ARESTO YANTO SAMSOR . *Evaluation Of The Decrease In The Sand Layer By Strengthening Wooden Groves Due To Earthquake Loads.* (Supervisor: Prof. Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT and Prof. Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D)

Liquefaction is a phenomenon or natural disaster that occurs when the soil experiences shifts due to the loss of strength of the soil. Earthquakes are one of the causes of liquefaction where the pore water pressure of the soil rises, causing the pore water pressure to be greater than the effective stress of the soil. When the effective stress is small or equal to zero, the pore water pressure will approach the total stress figure or be equal to the total stress. One method of handling sandy soil that has the potential for liquefaction is to increase the bearing capacity of the soil. So testing the use of wooden shavings as a method for dealing with soil with potential for liquefaction is expected to increase the carrying capacity of soil with the potential for liquefaction. The aim of this research is to determine the effect of decreasing the sand layer due to earthquake loads by using wooden sludge reinforcement and wooden sludge + PVD reinforcement (hybrid pile). The test method used is a laboratory scale test by carrying out soil reinforcement model tests on loose sand soil with a relative density of 40% with a seismic load for 37 seconds with an acceleration of $PGA = 0.3g$ Frequency 0.78 Hz. This is due to the resistance at the tip of the cerucuk and the shear force on the wooden cerucuk blanket. Meanwhile, for the cerucuk + PVD Hybrid pile reinforcement model test, it was able to reduce settlement to a greater extent, namely with a settlement of 0.5 cm or a settlement reduction of 94.51% in the Y direction and 0.3 cm or a reduction of 97.00% settlement when compared with samples without reinforcement. Referring to the test results due to seismic loads with $PGA = 0.3 g$ and a frequency of 0.78 Hz, it was found that strengthening wooden groves given to sandy soil that has the potential for liquefaction can provide additional bearing capacity. This can be seen from the decrease that occurs due to the applied load which is smaller when compared to soil without reinforcement, namely 2.93 cm or reduces the decrease by 66.58% in the Y direction and 2.7 cm or reduces the decrease by 73%.

Keywords: Liquefaction, Wood Pile, Hybrid Pile, Land Subsidence

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2. 1 Gempa bumi.....	5
2. 2 Likuifaksi	10
2. 3 Kayu	16
2. 4 Tanah.....	20
2.4.1 Definisi Tanah Pasir.....	20
2.4.2 Teori Perbaikan Tanah Pasir	21
2.4.3 Tanah Embankment.....	22
2. 5 Prefabricated Vertical Drain (PVD).....	23
2. 6 Penurunan Tanah.....	24
2. 7 Metode Analisis Aplikasi Surfer.....	25
2. 8 Penelitian Terdahulu	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Lokasi Penelitian.....	28
3.2 Metode Pengumpulan Data.....	28
3.3 Kerangka Penelitian	29
3.4 Alat dan Bahan.....	29
3.5 Rancangan Penelitian.....	33
3.6 Prosedur Pelaksanaan.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Data Teknis Benda Uji.....	43
4.1.1 Data Teknis Kayu	43
4.1.2 Data Teknis Tanah.....	43
4.1.3 Data Teknis <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	45
4.2 Uji Model Pada Tanah Potensi Likuifaksi	45
4.2.1 Uji Model Tanpa Perkuatan Pada Tanah Potensi Likuifaksi.....	45
4.2.2 Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu Pada Tanah Potensi Likuifaksi.....	47

4.2.3 Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu + PVD (<i>Hybrid Pile</i>) Pada Tanah Potensi Likuifaksi.....	48
4.2.4 Hasil evaluasi penurunan akibat beban gempa berbagai variasi.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Kegempaan (Seismitas) di Indonesia, Periode 1973-2010	7
Gambar 2 Tipe pergerakan sesar gempa bumi (1) Turun, (2) Naik, (3) Mendatar, (4) Sesar Oblique	10
Gambar 3 Kondisi tanah pada saat terjadinya likuifaksi.....	12
Gambar 4 Proses Terjadinya Likuifaksi.....	13
Gambar 5 Penentuan Diameter Ekvivalen PVD	24
Gambar 6 Pola Pemasangan PVD	24
Gambar 7 Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 8 Lokasi Pengambilan Sampel Kayu	30
Gambar 9 Pasir pantai Galesong Kab. Takalar, Sulawesi Selatan	31
Gambar 10 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah/Pasir	31
Gambar 11 Skema Pemasangan Instrumen Alat Uji Model	34
Gambar 12 Skema Uji Model Tanpa Perkuatanalat Dan Bahan Penelitian.....	34
Gambar 13 Skema Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu	35
Gambar 14 Skema Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu + PVD (<i>Hybrid Pile</i>) ...	35
Gambar 15 Skema Jarak Pemasangan Cerucuk Kayu	36
Gambar 16 Tampak Atas Model Uji.....	36
Gambar 17 Model pengujian tanpa perkuatan	38
Gambar 18 (a). Cerucuk kayu, (b). Jarak pemasangandan (c). Pola pemasangan	39
Gambar 19 Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu.	39
Gambar 20 (a). Cerucuk kayu, (b). PVD, (c). Kawat ikat dan (d). <i>Hybrid pile</i>	40
Gambar 21 Pola pemasangan Model cerucuk kayu +PVD.....	41
Gambar 22 Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu + PVD (<i>Hybrid Pile</i>).....	42
Gambar 23 Instrument alat pengukur dalam uji model.....	42
Gambar 24 Kontur perubahan elevasi uji model tanpa perkuatan	46
Gambar 25 Tampak 2D perubahan uji model tanpa perkuatan.....	46
Gambar 26 Tampak Kondisi uji model tanpa perkuatan.	46
Gambar 27 Kontur perubahan elevasi uji model perkuatan cerucuk kayu	47
Gambar 28 Tampak 2D perubahan uji model perkuatan cerucuk kayu.....	47
Gambar 29 Tampak Kondisi uji model perkuatan cerucuk kayu.....	48
Gambar 30 Kontur perubahan elevasi uji model perkuatancerucuk kayu+PVD (<i>Hybrid pile</i>).	48
Gambar 31 Tampak 2D perubahan uji model perkuatan cerucuk kayu + PVD ...	48
Gambar 32 Tampak Kondisi uji model perkuatan cerucuk kayu+ PVD	49
Gambar 33 Grafik perbandingan penurunan, tanpa perkuatan dengan.....	49
Gambar 34 Grafik perbandingan penurunan, tanpa perkuatan dengan.....	50
Gambar 35 Titik ukur arah X dan arah Y	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kekuatan Kayu Menurut Jenis Pengelompokannya	19
Tabel 2 Persyaratan Cerucuk Kayu.....	20
Tabel 3 Daftar Alat – Alat Pengujian.....	31
Tabel 4 Data teknis kayu <i>Eucalyptus Pellita</i>	43
Tabel 5 Data Teknis Tanah Pasir Pantai Galesong	44
Tabel 6 Data Teknis Tanah Embakment.....	44
Tabel 7 Data teknis <i>Prefabricated Vertical Drain (PVD)</i>	45
Tabel 8 Rekapitulasi Perubahan perbandingan penurunan ketiga model.	51
Tabel 9 Rekapitulasi Perubahan Tekanan Air Pori Akibat PGA = 0,3g.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembacaan Penurunan Tanah Arah X	56
Lampiran 2 Pembacaan Penurunan Tanah Arah Y	57
Lampiran 3 Spesifikasi PVD	58
Lampiran 4 Dokumentasi	59

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“EVALUASI PENURUNAN LAPISAN PASIR DENGAN PERKUATAN CERUCUK KAYU AKIBAT BEBAN GEMPA”**. Tugas akhir merupakan salah satu syarat kelulusan pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan, arahan serta masukan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta **Debora Meda** atas kasih sayang dan juga dukungan selama ini dan baik secara material maupun spiritual, karena penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa nasihat dan doa kepada Tuhan Yang Maha Esa.
2. **Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen dan **Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT.**, selaku dosen pembimbing I, yang telah memberi bimbingan dan arahan serta waktu yang telah diluangkan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
5. **Bapak Prof. Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin MSc., Ph.D.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini
6. **Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Rahman Djamaluddin, MT.**, selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberi izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.

7. Seluruh dosen, Staff, dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanudin yang telah membantu dan mendukung penulisan tugas akhir ini.
8. **Pak Suyadi dan Kak Yodi** yang telah membantu penulis dalam pengerjaan penelitian di laboratorium dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teman-teman PORTLAND 2020 yang membantu dan mengikutsertakan penulis menjadi bagian dari kisah-kisah hebat kalian. Yang memberikan makna hidup terbaik untuk penulis, awal mula yang bukan siapa-siapa belum tentu tidak bisa menjadi apa-apa. Kalimat awal yang sangat sederhana yang akan menghantarkan penulis menuju kisah-kisah hebat lainnya.
10. Semua pihak yang telah turut serta membantu dalam penulisan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Adapun dalam penyusunan tugas akhir ini, saya ucapkan permohonan maaf apabila ada kesalahan kata pada tugas akhir ini. Dengan demikian, kritik dan saran untuk tugas akhir sangat diperlukan guna memberikan dampak yang lebih baik kedepannya. Akhir kata saya ucapkan terima kasih dan tetap semangat untuk kita semua, serta kiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Sekian dan terima kasih.

Gowa, 23 Oktober 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan konstruksi diatas lapisan tanah pasir merupakan suatu permasalahan yang cukup besar di bidang geoteknik dikarenakan daya dukung tanah yang rendah serta tanah pasir yang umumnya mempunyai kerapatan rongga yang rendah, hal ini mengakibatkan air pori yang ada di dalam tanah terperangkap dan memerlukan waktu yang lama untuk dapat keluar seluruhnya sehingga penurunan tanah terjadi pada waktu yang lama. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan perbaikan pada tanah sebelum dilakukan konstruksi.

Potensi likuifaksi pada tanah berpasir akibat gempa bumi ini dipengaruhi oleh faktor seismik yaitu magnitudo gempa (M_w), percepatan seismik permukaan tanah (a_{max}), dan jarak epicenter. Magnitudo gempa berkaitan langsung dengan energi yang dihasilkan untuk menggerakkan lapisan lapisan batuan atau tanah. Secara teoritik, semakin besar magnitude gempa maka percepatan pergerakan permukaan tanah akan semakin besar. Namun, percepatan gempa pada permukaan tanah ini akan sangat bergantung pada sifat-sifat lapisan tanah seperti kekuatan geser tanah. Kekuatan geser tanah di lapangan ini dapat diketahui dengan melakukan uji sondir yang akan diperoleh data tahanan ujung (q_c) dan tahanan gesek (q_f). Dengan demikian perlu dikaji magnitudo gempa minimum yang dapat menimbulkan bahaya likuifaksi. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk evaluasi dua parameter seismik, M_w dan a_{max} , terhadap bahaya likuifaksi dan penurunan tanah akibat gempa bumi di Kampus Terpadu UMY (Muntohar and Studi 2012).

Beberapa metode penanganan untuk daerah rawan likuifaksi mulai dilakukan baik dalam bentuk desain pondasi yang akan digunakan pada bangunan maupun penanganan dengan cara meningkatkan daya dukung tanahnya. Seperti *Evaluation of stone columns versus liquefaction phenomenon* Arsalan Salahi, et al (2015), *Centrifuge modelling of inclined micro-piles for liquefaction remediation of existing buildings*. Helen Mitrani and S.P.G. Madabhushi, (2008). *Improvement of loose sandy soil deposits using micropiles* Reza Ziaie Moayed, et al (2012).

Experimental study on mitigation of liquefaction-induced vertical ground displacement by using gravel and geosynthetics Hendra Setiawan, et al (2018). Dari beberapa metode penelitian tersebut yang sudah dilakukan ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung tanah yang berpotensi likuifaksi yaitu dengan menggunakan micro pile.

Peristiwa likuifaksi ini telah dibuktikan melalui sejarah yang telah terjadi di dunia, seperti pada gempa di Niagata, Jepang pada tahun 1964 dan di Palu, Indonesia pada tahun 2018. Melihat potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh likuifaksi saat besar bagi kita, para ahli mulai mengembangkan beberapa metode praktis untuk menganalisa potensi likuifaksi dari tanah. Terdapat beberapa metode analisa likuifaksi yang telah ada, salah satunya adalah metode analisa menggunakan data pengujian lapangan, seperti uji sondir (*cone penetration test*), uji standar penetrasi, uji boring SPT dan uji swedish. Selain itu analisa potensi likuifaksi juga dapat dilakukan berdasarkan uji di laboratorium seperti uji sifat fisik dan sifat mekanis. Dari sekian banyak metode yang ada, metode menggunakan data uji SPT dan CPT merupakan metode yang sering digunakan oleh para ahli, seperti Seed dan Idriss (1971), Tatsuoka (1980), Tokimatsu dan Yoshimi (1983).

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis mengangkat judul **“EVALUASI PENURUNAN LAPISAN PASIR DENGAN PERKUATAN CERUCUK KAYU AKIBAT BEBAN GEMPA”**

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji dari uraian latar belakang akan dijabarkan dalam rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana besaran penurunan akibat beban gempa yang diberikan kepada lapisan pasir tanpa perkuatan.
2. Bagaimana besaran penurunan lapisan pasir akibat beban gempa dengan perkuatan cerucuk kayu.
3. Bagaimana besaran penurunan lapisan pasir akibat beban gempa yang diberikan pada tanah pasir menggunakan cerucuk kayu kombinasi *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*.

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk memperkaya wawasan tentang pemanfaatan material lokal sebagai bahan konstruksi. Sehingga diharapkan semakin luasnya kemungkinan pemanfaatan material lokal digunakan untuk perkuatan tanah yang berpotensi likuifaksi terutama bagi kegunaan di lapangan. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan cerucuk kayu pada tanah yang berpotensi likuifaksi. Secara rinci penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui besaran penurunan lapisan pasir akibat beban gempa pada tanah pasir :
 - a) Tanpa perkuatan
 - b) Menggunakan perkuatan cerucuk kayu
 - c) Menggunakan perkuatan cerucuk kayu kombinasi *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).
2. Mengevaluasi pola penurunan lapisan pasir akibat beban gempa dengan berbagai variasi perkuatan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai sumber dan bahan masukan bagi peneliti lain untuk menggali dan melakukan eksperimen tentang penurunan lapisan pasir dengan menggunakan perkuatan akibat beban gempa.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini mencakup pengujian eksperimental laboratorium dengan pemanfaatan cerucuk kayu sebagai bahan perkuatan pada tanah berpotensi likuifaksi. Dimana dalam penelitian ini meliputi uji sifat fisik, dan mekanik, serta uji model fisik penggunaan cerucuk kayu sebagai bahan perkuatan pada tanah yang berpotensi likuifaksi. Analisis model penelitian dibatasi sampai pada pengukuran dan deformasi vertikal, horizontal dan peningkatan air pori. Sehingga untuk menyederhanakan proses penelitian, maka dalam pelaksanaannya dilakukan beberapa batasan dan asumsi, di antaranya adalah:

1. Tanah yang diteliti adalah tanah yang berasal dari jenis pasir pantai.
2. Jenis kayu yang digunakan untuk perkuatan cerucuk adalah kayu bus merah (*Eucalyptus pellita*)
3. Uji Model yang dilakukan adalah model uji pada skala laboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Gempa bumi

2.1.1 Pengertian Gempa Bumi

Menurut (Pujianto 2007) gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang dapat disebabkan oleh buatan/akibat kegiatan manusia maupun akibat peristiwa alam. Akibat dari kedua tersebut tanah menjadi bergetar sebagai efek dari menjalarnya gelombang energi yang memancar dari pusat gempa/fokus. Energi yang memancar dari fokus adalah akibat dari peristiwa mekanik (tumbukan, gesekan, tarikan) ataupun peristiwa khemis (ledakan akibat peristiwa reaksi kimia), energi yang terjadi akibat peristiwa-peristiwa tersebut menyebar kesegala arah pada media tanah.

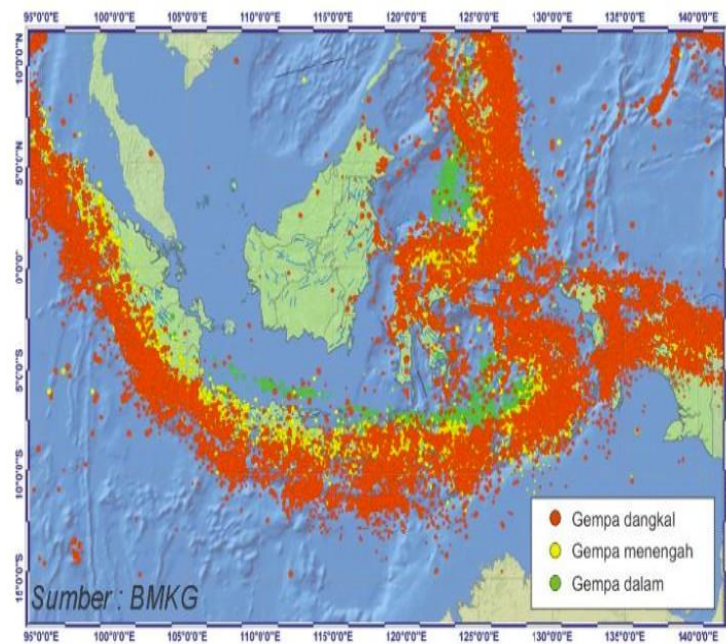
Gempa bumi adalah bencana alam yang sulit di prediksi kapan terjadinya, berbeda dengan bencana alam lainnya seperti banjir, badai dan lainnya. Dikarenakan gempa bumi ini muncul secara tiba tiba yang sulit untuk di hindari yang dapat menyebabkan kerugian baik itu materi bahkan adanya korban jiwa. Akibat utama dari gempa bumi adalah hancurnya infrastruktur yang di sebabkan oleh bergesernya tanah yang di sebabkan oleh guncangan tanah. Hancurnya infrastruktur-infrastruktur tersebut dapat menyebabkan jatuhnya korban jiwa yang terjadi karena tertimpah reruntuhan bangunan dan terjadinya longsor akibat pergeseran tanah.

Indonesia menjadi salah satu negara yang rawan gempa bumi. Hal ini disebabkan oleh dua faktor yang saling berkait berikut. (1) Pada saat ini posisi geologis Indonesia berada pada pertemuan 3 lempeng litosferik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia; dimana gaya interaksi antar-lempeng tersebut senantiasa menekan dan menggeser berbagai patahan yang tersebar di seluruh bagian Indonesia, baik di daratan maupun di dasar lautan, yang telah ada semenjak lama akibat faktor berikutnya. (2) Pada masa lampau selama puluhan juta tahun, Indonesia dibangun atas gabungan berbagai lempeng benua mikro dan busur gunungapi, yang digerakkan oleh proses tektonik yang kompleks hingga

berada di tempatnya saat ini; proses tumbukan puluhan lempeng tersebut menyebabkan terbentuknya berbagai jenis patahan yang tersebar di berbagai tempat, senantiasa menerima dan menimbun gaya tektonik dari interaksi lempeng- lempeng litosfer saat ini. Telah ratusan ribu jiwa tercatat menjadi korban bencana gempabumi tektonis di Indonesia, yang terjadi di berbagai daerah, di antaranya (dengan jumlah korban >1000 orang meninggal):

1. Gempa Aceh, 26 Desember 2004, magnitudo 9.3, korban ~168.000 meninggal
2. Gempa Papua, 26 Juni 1976, magnitudo 7.1, korban ~ 9.000 meninggal
3. Gempa Yogyakarta, 27 Mei 2006, magnitudo 5.9, korban 6.234 meninggal
4. Gempa Ambon, 20 September 1899, magnitudo 7.8, korban 3.280 meninggal
5. Gempa Sumbawa, 19 Agustus 1977, magnitudo 8.0, korban 2.200meninggal
6. Gempa Flores, 12 Desember 1992, magnitudo 7.5, korban 2.100meninggal
7. Gempa Padang, 30 September 2009, magnitudo 7.6, korban 1.115meninggal.

Mempertimbangkan kondisi geologi Indonesia, frekuensi gempabumi dan distribusinya (Gambar 1), serta jumlah korban terdampak, perlu kiranya kita perlu mengenal lebih jauh bencana gempa bumi.



Gambar 1 Peta Kegempaan (Seismitas) di Indonesia, Periode 1973-2010

2.1.1 Penyebab Gempa Bumi

Parameter gempa yang menyebabkan gerakan tanah sangat penting untuk menggambarkan karakteristik gempa yang terjadi. Menurut (Kramer 1996) ada beberapa parameter yang mempengaruhi kekuatan gempa, diantaranya:

1. Amplitudo

Kekuatan gempa yang dapat digambarkan dalam bentuk gelombang. Parameter gelombang yang tercatat dapat berupa hubungan antara waktu dengan percepatan, kecepatan, atau perpindahan.

2. Waktu kejadian gempa bumi (*Origin time*)

Waktu kejadian gempa bumi atau origin time adalah waktu pada saat terlepasnya akumulasi tegangan berupa gelombang gempa yang dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik dalam satuan UTC (Universal Time Coordinated).

3. Durasi

Durasi guncangan berkaitan dengan waktu yang diperlukan untuk melepaskan energi yang terakumulasi oleh guncangan di sepanjang patahan. Lamanya durasi guncangan yang besar dapat memberikan pengaruh besar terhadap kerusakan akibat gempa bumi. Guncangan yang berdurasi pendek memiliki kemungkinan tidak cukup merusak struktur meskipun mempunyai amplitudo yang tinggi.

4. Hiposenter

Hiposenter merupakan titik pusat terjadinya gempa bumi. Terdapat beberapa jenis gempa bumi berdasarkan kedalaman hiposentrumnya, diantaranya:

- Gempa bumi dangkal dengan pusat kedalaman < 70 km
- Gempa bumi sedang dengan pusat kedalaman $70 - 300$ km
- Gempa bumi dalam dengan pusat kedalaman $300 - 700$ km

5. Episenter

Episenter merupakan lokasi di permukaan tanah yang tegak lurus dengan hiposenter atau titik awal terjadinya gempa. Episenter bertugas membawa sisa gelombang dan menyebarkannya. Dapat dikatakan, episenter adalah medium yang bertugas meneruskan getaran ke permukaan bumi.

6. Kekuatan gempa bumi atau magnitudo

Besarnya energi yang dilepaskan saat gempa terjadi disebut dengan kekuatan gempa atau magnitudo gempa. Untuk dapat menggambarkan besarnya gempa bumi digunakan alat yang disebut seismograf. Saat gempa bumi terjadi, seismograf memantau kekuatan gempa bumi kemudian dicatat dalam seismogram.

2.1.2 Kedalaman dan Kekuatan Gempa Bumi

Klasifikasi gempa bumi berdasarkan kedalaman fokus (*hypocentre*) sebagai berikut : gempa bumi dangkal (*shallow*) kurang dari 70 km, gempa bumi menengah (*intermediate*) kurang dari 300 km, dan gempa bumi dalam (*deep*) lebih dari 300 km atau 450 km.

Gempa bumi dangkal memiliki dampak goncangan dan kehancuran yang lebih besar daripada gempa bumi yang lebih dalam. Hal ini disebabkan karena sumber gempa bumi dangkal berada lebih dekat dengan permukaan bumi, sehingga energi gelombangnya lebih besar. Perbedaan jarak antara sumber gempa dan permukaan bumi yang relatif kecil menyebabkan energi gelombang tersebut tidak mengalami banyak kelemahan.

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

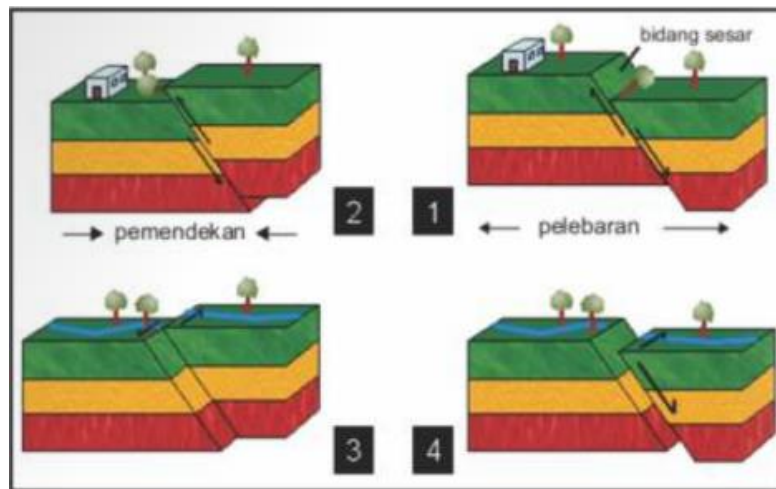
- a. Gempa bumi sangat besar $M > 8$ SR
- b. Gempa bumi besar $M 7 - 8$ SR
- c. Gempa bumi merusak $M 5 - 6$ SR
- d. Gempa bumi sedang $M 4 - 5$ SR
- e. Gempa bumi kecil $M 3 - 4$ SR
- f. Gempa bumi mikro $M 1 - 3$ SR
- g. Gempa bumi ultra mikro $M < 1$ SR

2.1.3 Jenis Gempa Bumi Berdasarkan Urutan dan Kejadiannya

Berdasarkan Proses kemunculan dan kesudahannya, Mogi membedakan gempa bumi atas beberapa jenis, diantaranya :

- a. Gempa bumi utama (main shock) langsung diikuti gempa bumi susulan tanpa gempa bumi pendahuluan (fore shock).
- b. Gempa bumi sebelum terjadi gempa bumi utama diawali dengan adanya gempa bumi pendahuluan dan selanjutnya diikuti oleh gempa bumi susulan.
- c. Gempa bumi terus-menerus dan dengan tidak terdapat gempa bumi utama yang signifikan disebut gempa bumi *swarm*. Biasanya berlangsung cukup lama dan bisa mencapai 3 bulan atau lebih. Terjadi pada daerah vulkanik seperti Gunung Lawu 1979, dan

Kemiling, Bandar Lampung 2006. Tipe pergerakan sesar bumi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Tipe pergerakan sesar gempa bumi (1) Turun, (2) Naik, (3) Mendatar, (4) Sesar Oblique

Sumber : (Sunarjo, Gunawan, and Pribadi 2012)

2. 2 Likuifaksi

2.2.1 Definisi Likuifaksi

Likuifaksi adalah suatu fenomena atau bencana alam yang terjadi oleh tanah yang mengalami pergeseran akibat hilangnya kekuatan tanah tersebut. Gempa bumi adalah salah satu penyebab terjadinya likuifaksi dimana tekanan air pori tanah tersebut naik yang menyebabkan tekanan air pori lebih besar di bandingkan tegangan efektif tanah tersebut. Ketika tegangan efektif kecil atau sama dengan nol maka tekanan air pori akan mendekati angka tegangan total atau sama dengan tegangan total.

Menurut (Day 2002) gempa bumi dapat mengakibatkan secondary effect atau proses non-tektonik dipermukaan yang berhubungan langsung dengan gempa bumi. Salah satu efek sekunder ini adalah terjadinya fenomena pencairan tanah akibat beban siklik atau yang dikenal dengan istilah likuifaksi. Peristiwa likuifaksi pada umumnya terjadi pada konsistensi tanah granular jenuh (saturated) yang lepas sampai sedang dengan sifat drainase dalam tanah. Endapan atau deposit tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi ketika diberikan beban siklik adalah pasir halus (sand), pasir berlumpur (silty sand), dan pasir lepas (loose sand). Karena hanya terjadi di

tanah yang jenuh, likuifaksi umumnya terjadi di dekat sungai, teluk, atau badan air lainnya (Kramer 1996).

Kajian tentang likuifaksi dan dampaknya yang menghancurkan, di praktikkan setelah gempa bumi Niigata dan Alaska pada tahun 1964, yang menyebabkan sejumlah besar kerusakan akibat likuifaksi pada bangunan dan struktur. Selama gempa bumi Murchinson tahun 1929, penyelesaian keseluruhan 0,7 m terjadi di wilayah dekat Karamea dengan bisul pasir dan geyser air.

Kondisi tanah pada saat terjadinya likuifaksi dapat di nyatakan dalam persamaan 2.1

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.1)$$

dengan:

σ' = tegangan efektif tanah (t/m^2)

σ = tegangan total (t/m^2)

u = tekanan air pori (t/m^2)

Menurut (Das 1995) tegangan total dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.2.

$$\sigma = (H \cdot \gamma_d) + (H - H_A) \cdot \gamma_{sat} \quad (2.2)$$

dengan:

σ = tegangan total (t/m^2)

H = tinggi muka air diukur dari permukaan tanah (m)

H_A = jarak antara titik A dengan muka air (m)

γ_d = berat volume tanah kering (t/m^3)

γ_{sat} = berat volume tanah jenuh air (t/m^3)

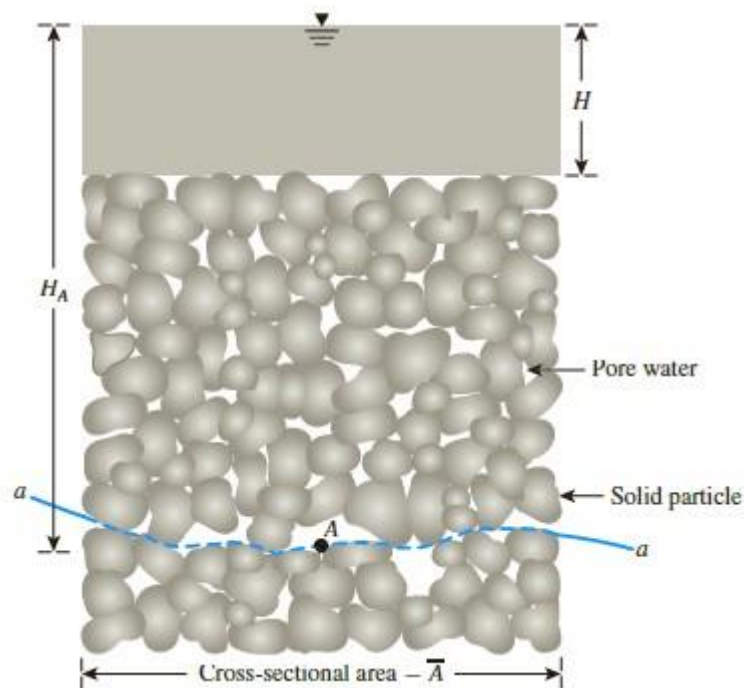
Sedangkan nilai rasio tekanan air pori tanah dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.3.

$$u = H_A \cdot \gamma_w \quad (2.3)$$

dengan:

H_A = jarak antara titik A dengan muka air

γ_w = berat volume air (10 kN/m^3)

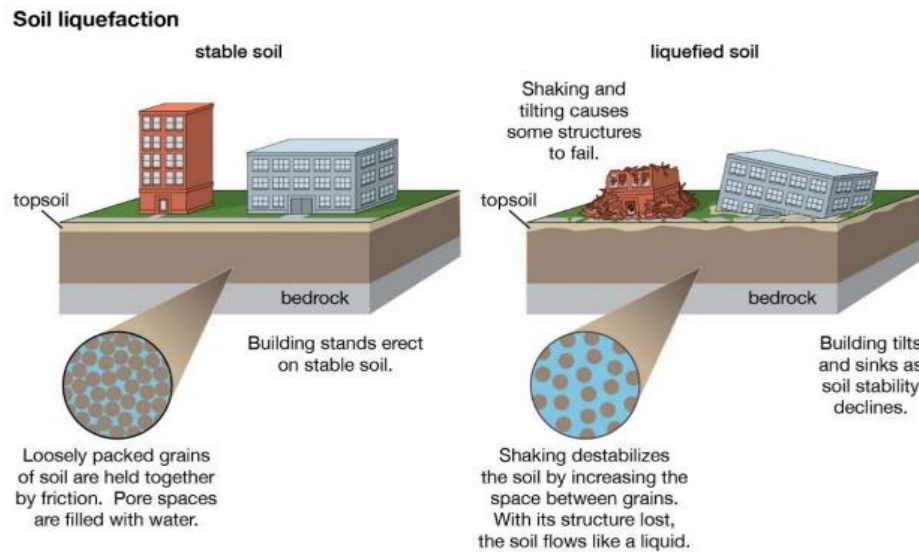


Gambar 3 Kondisi tanah pada saat terjadinya likuifaksi

2.2.2 Mekanisme Terjadinya Likuifaksi

Menganalisa potensi terjadinya likuifaksi diasumsikan selama berlangsungnya getaran gempa belum terjadi disipasi yang berarti di lapisan tanah, dengan kata lain belum terjadi redistribusi tekanan air pori pada massa tanah. Akibat beban siklik (beban gempa), tanah mengalami tekanan sebelum proses disipasi terjadi sehingga itu mengakibatkan tekanan air pori meningkat, muka air tanah sangat menentukan potensi terjadinya likuifaksi. (Tijow, Sompie, and Ticoh 2018).

Pasir dengan kepadatan sedang sampai lepas dan memiliki elevasi muka air tanah yang tinggi, saat tidak ada getaran tanah akan stabil karena partikel tanah pasir saling mengunci (*interlocking*). Ketika terjadi gempa, volume tanah cenderung menyusut dan mengakibatkan peningkatan pada tekanan air pori sehingga kuat geser efektif tanah akan menurun. Pasir yang jenuh air akan mengisi ruang antar partikel sehingga kekuatan *interlocking* antara partikel hilang seperti pada Gambar 4



Gambar 4 Proses Terjadinya Likuifaksi

Sumber : Encyclopedia Britannica, Inc. 2012

Ishihara (1985) mengemukakan bahwa pada saat keadaan likuifaksi, tegangan efektif tanah sama dengan nol. Hal ini diakibatkan karena tekanan air pori meningkat hingga ke titik saat tegangan air pori sama besar dengan tegangan tanah. Karena kehilangan kuat geser tanah, partikel-partikel pasir yang mengunci saling melepaskan dan seolah-olah partikel pasir mengembang di air.

Setelah terjadi likuifaksi, tekanan air pori berlebih akan mulai terdisipasi. Lamanya waktu tanah tetap dalam keadaan cair bergantung pada 2 faktor utama, yaitu durasi getaran akibat gempa bumi dan kondisi drainase dari tanah yang terlikuifaksi. Semakin lama dan kuat tegangan geser siklik akibat gempa, semakin lama likuifaksi terjadi. Ketika proses likuifaksi selesai, tanah dapat kembali memadat, ambles, atau kemungkinan tidak sempat untuk memadat.

2.2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Likuifaksi

Ada banyak faktor yang dapat menyebabkan tanah mengalami proses likuifaksi. Berdasarkan hasil uji laboratorium serta observasi dan studi lapangan, menurut (Day 2002) faktor-faktor tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Intensitas, durasi, dan karakteristik gempa bumi

Tanah akan mengalami likuifaksi apabila tanah tersebut diberikan getaran. Karakteristik gerakan tanah seperti percepatan dan durasi gempa dapat menentukan regangan geser yang menyebabkan reaksi antar partikel tanah dan peningkatan tekanan air pori berlebih sehingga terjadi likuifaksi. Potensi likuifaksi meningkat seiring intensitas gempa dan lamanya guncangan terjadi. Gempa bumi yang memiliki kekuatan tertinggi akan menghasilkan percepatan tanah maksimum pada tanah dasar atau *Peak Ground Acceleration* (PGA).

b. Muka air tanah

Kondisi yang paling rentan untuk likuifaksi adalah permukaan yang dekat dengan muka air tanah. Hal ini disebabkan karena tanah tidak jenuh yang terletak di atas permukaan air tanah tidak akan mengalami likuifaksi.

c. Jenis tanah

Ishihara (1985) menyatakan bahwa peristiwa likuifaksi yang pernah terjadi selama gempa bumi telah ditemukan dalam endapan yang terdiri dari pasir halus sampai sedang dan pasir yang mengandung rasio plastisitas yang rendah. Dengan demikian, jenis tanah yang rentan terhadap likuifaksi adalah tanah non-plastis (*non-cohesi*). Diperkirakan tanah non-cohesi yang rentan terhadap likuifaksi adalah pasir bersih (*clean sands*), pasir berlumpur non-plastis (*non-plastic silty sands*), lumpur non-plastis (*non-plastic silt*) dan kerikil (*gravel*).

d. Kepadatan relatif (D_r)

Berdasarkan studi lapangan, tanah non-cohesif yang mempunyai kepadatan relatif yang lepas rentan terhadap likuifaksi. Jika tanah memiliki D_r yang semakin besar maka akan semakin besar tahanannya terhadap potensi likuifaksi.

e. Gradasi dan analisis butiran tanah

Tanah yang memiliki gradasi seragam (*uniformly graded soil*) cenderung tidak stabil dan lebih rentan terhadap likuifaksi daripada tanah yang bergradasi baik (*well-graded soil*). Tanah dengan gradasi

baik memiliki partikel yang saling mengisi rongga dan mengurangi potensi kontraksi tanah sehingga menghasilkan tekanan air pori yang lebih sedikit selama gempa bumi. Selain itu, gradasi tanah pada D50 yang memiliki ukuran butir 0,15 mm hingga 0,35 mm berpotensi mengalami likuifaksi.

f. Kondisi drainase dan dimensi deposit atau endapan

Jika tekanan air pori berlebih dapat dengan cepat akan terdisipasi, maka kemungkinan tidak akan terjadi likuifaksi. Oleh karena itu, drainase dengan kerikil permabel atau lapisan kerikil dapat mengurangi potensi terjadinya likuifaksi. Selain itu, endapan alami yang terbentuk di danau, sungai, atau lautan cenderung membentuk lapisan konsistensi tanah lepas dan terjadi segregasi sehingga lebih rentan terhadap likuifaksi. Tanah yang sangat rentan terhadap likuifaksi terbentuk di lingkungan pengendapan *lacustrine*, *alluvial*, dan *marine*.

g. Historis lingkungan

Menurut (Bolton Seed and Idriss 1970), historis lingkungan tanah dapat mempengaruhi potensi likuifaksi. Misalnya, tanah yang sudah lama mengendap telah mengalami guncangan seismik akan meningkatkan ketahanan likuifaksi dibandingkan dengan tanah baru yang sama dan memiliki kerapatan identik.

2.2.4 Parameter Likuifaksi

Parameter likuifaksi merupakan parameter yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan kriteria likuifaksi yang terjadi pada deposit tanah. Dimana dalam hal ini, perilaku likuifaksi pada tanah dipengaruhi oleh 2 parameter utama yaitu kepadatan relatif (D_r) dan percepatan tanah maksimum dan gravitasi (a_{max}/g). Ada beberapa tahapan untuk menentukan daerah di kondisi lapangan yang terlikuifaksi akibat pengaruh beban siklik:

- a. Menentukan jenis (permodelan) gempa yang terjadi
- b. Menentukan waktu terjadinya tegangan geser yang dipengaruhi oleh gempa bumi pada kedalaman tertentu terhadap setiap lapisan pasir.

- c. Mengubah waktu terjadinya tegangan geser ini kedalam jumlah beban siklik (N).
- d. Menggunakan hasil dari uji laboratorium, untuk menentukan mangnitude atau jumlah beban siklik yang diperlukan agar terjadinya likuifaksi di lapangan berdasarkan kedalaman tertentu.

2.3 Kayu

2.3.1 Definisi Kayu

Kayu merupakan salah satu sumber daya alam yang dapat di perbaharui dan memiliki peran yang sangat luas bagi kehidupan manusia. Secara umum, kayu merupakan hasil dari pertumbuhan pohon dan digunakan sebagai bahan bangunan. Namun, secara khusus, kayu dapat dijelaskan sebagai hasil metabolisme yang terdiri dari berbagai macam sel dan komponen kimia. Apapun definisi kayu yang digunakan, yang terpenting adalah bagaimana kita memanfaatkannya secara optimal dan efisien. Dengan memahami karakteristik kayu sebelum digunakan, penggunaanya dapat menghasilkan hasil yang optimal (Yunianti et al. 2020). Kayu mempunyai 4 unsur esensial antara lain:

- a. Selulosa merupakan suatu polisakarida yang tersusun dari unit perulangan D glukosa yang mempunyai tiga gugus hidroksil yang dapat disubstitusi, tidak larut dalam air mempunyai sifat kristalinitas yang tinggi dan berat molekulnya yang tinggi (terdiri dari satuan berulang D-glukosa yang mencapai 4000 buah per molekul).
- b. Lignin adalah suatu polimer yang kompleks dengan berat molekul tinggi, tersusun atas unit-unit fenilpropana. Lignin sangat stabil, sukar diubah dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam, sehingga susunan lignin yang pasti dalam kayu tidak menentu.
- c. Bahan-bahan ekstrasi, komponen ini yang memberikan sifat pada kayu, seperti: bau, warna, rasa, dan keawetan. Selain itu, karena adanya bahan ekstrasi ini, maka kayu bisa didapatkan hasil yang lain misalnya: tannin, zat warna, minyak, getah, lemak, malam, dan lain sebagainya.

- d. Mineral pembentuk abu, komponen ini tertinggal setelah lignin & selulosa terbakar habis. Banyaknya komponen ini 0.2%-1% dari berat kayu.

2.3.2 Karakteristik Kayu

a. Sifat Fisika

Perilaku kayu sebagai tanggapan terhadap perubahan kondisi atmosfer atau udara atau udara disekitarnya sifat fisika (Prayitno 2006) . Beberapa sifat fisika yang penting untuk diketahui adalah :

- 1) Kadar air kayu adalah banyaknya air yang terkandung didalam kayu yang dinyatakan persen terhadap berat kering tanurnya.
- 2) Berat jenis dan kerapatan adalah nilai perbandingan berat suatu kayu terhadap volume air/akuades yang sama dengan kayu tersebut.
- 3) Perubahan dimensi kayu, kondisi kayu sangat ditentukan oleh kandungan air didalam kayu tersebut. Kandungan air kayu dapat berkurang dapat pula bertambah.

b. Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah kekuatan dan ketahanan terhadap perubahan bentuk suatu bahan. Kekuatan adalah kemampuan suatu bahan untuk memikul beban atau gaya yang bekerja padanya. Sementara ketahanan terhadap perubahan bentuk akibat beban atau gaya yang bekerja padanya.

Kayu adalah bahan elastis yang berarti bahwa bila diberi beban dibawah batas elastis atau batas proporsional maka tegangan akan sebanding dengan regangannya. Bila melewati batas tersebut maka hubungan tegangan regangan tidak sebanding.

Kayu lebih kuat pada arah sejajar serat dibandingkan arah tegak lurus serat, hal ini sebagai akibat sifat anisotropis kayu. Sifat mekanik kayu yang penting meliputi kekuatan lengkung / *Modulus*

Of Rupture (MOR), kekuatan tekan, kekuatan tarik, kekuatan geser, kekerasan kekuatan belah dan sebagainya.

c. Sifat Kimia

Komponen kimia di dalam kayu, mempunyai arti yang penting, karena menentukan kegunaan sesuatu jenis kayu. Juga dengan mengetahuinya, kita dapat membedakan jenis-jenis kayu. Susunan kimia kayu di gunakan sebagai pengenalan ketahanan kayu terhadap serangan makhluk perusak kayu.

Di samping sekian banyak karakteristik kayu yang berbeda satu sama lain, ada beberapa karakteristik umum yang terdapat pada semua kayu yaitu:

- 1) Semua batang pohon mempunyai pengaturan vertikal dan sifat simetri radikal.
- 2) Kayu tersusun dari sel-sel yang memiliki tipe bermacam-macam dan susunan dinding selnya terdiri dari senyawa-senyawa kimia berupa selulosa dan hemiselulosa (unsur karbohidrat) serta berupa lignin.
- 3) Semua kayu bersifat anisotropik, yaitu memperlihatkan sifat-sifat yang berlainan jika diuji menurut tiga arah utamanya (longitudinal, tangensial dan radial).
- 4) Kayu merupakan suatu bahan yang bersifat higroskopik, yaitu dapat kehilangan atau dapat bertambah kelembapannya akibat perubahan kelembaban dan suhu udara di sekitarnya.

2.3.3 Klasifikasi Mutu Kayu

Klasifikasi mutu kayu merupakan penggolongan kayu secara visual terkait dengan kualitas muka kayu, seperti: cacat, pola serat, dan kelurusan batang, serta kadar air kayu.

Menurut (Wicaksana and Rachman 2018), terdapat 3 (tiga) macam mutu kayu dalam perdagangan, yaitu: mutu A, mutu B dan mutu C. Kayu mutu C adalah kayu yang tidak termasuk dalam golongan kayu mutu A dan mutu B. Menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) 1961, kayu mutu A dan mutu B harus memenuhi syarat sebagai berikut:

a. Syarat kayu mutu A:

- 1) Kayu harus kering udara (kadar air $\leq 15\%$).
- 2) Besar mata kayu tidak melebihi $1/6$ lebar muka kayu, atau tidak boleh lebih besar dari 3,5 cm.
- 3) Kayu tidak boleh mengandung kayu gubal (wanvlak) yang lebih besar dari $1/10$ lebar muka kayu.
- 4) Miring arah serat Tangen maksimum $1/10$.
- 5) Retak arah radial tidak boleh lebih besar dari $1/4$ tebal kayu dan retak arah lingkaran tumbuh tidak boleh lebih besar dari $1/5$ tebal kayu.

b. Syarat kayu mutu B:

- 1) Kayu kering udara dengan kadar air $15\% - 30\%$.
- 2) Besar mata kayu tidak melebihi $1/4$ lebar muka kayu, atau tidak boleh lebih besar dari 5 cm.
- 3) Kayu tidak boleh mengandung kayu gubal (wanvlak) yang lebih besar dari $1/10$ lebar muka kayu.
- 4) Miring arah serat Tangen maksimum $1/7$.
- 5) Retak arah radial tidak boleh lebih besar dari $1/3$ tebal kayu dan retak arah lingkaran tumbuh tidak boleh lebih besar dari $1/4$ tebal kayu.

2.3.4 Klasifikasi Kekuatan Kayu

Klasifikasi kayu di Indonesia menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) tahun 1961 digolongkan ke dalam 5 (lima) kelas kuat, yaitu kelas kuat I, II, III, IV, dan V. Besar tegangan dan berat jenis masing-masing kelas kuat kayu ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Kekuatan Kayu Menurut Jenis Pengelompokannya

Kelas Kuat	Tegangan Lentur Mutlak (kg/cm ²)	Tegangan Tekanan Mutlak (kg/cm ²)	Berat Jenis (BJ)
I	≥ 1100	≥ 650	$\geq 0,90$
II	1100 – 725	650 – 425	0,90 – 0,60
III	725 – 500	425 – 300	0,60 – 0,40
IV	500 – 360	300 – 215	0,40 – 0,30
V	≤ 360	≤ 215	$\leq 0,30$

Sumber : (Sudarminto 1983)

2.3.5 Cerucuk Kayu

Cerucuk merupakan suatu metode perbaikan tanah yang sering dijumpai guna meningkatkan daya dukung tanah yang lunak maupun penguat lereng timbunan. Cerucuk bisa berupa tiang kayu berukuran panjang 4-6 m dengan diameter 10 cm. Bisa juga tiang beton untuk tanah lunak yang lebih dalam, dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar diperlukan, penggunaan dari tiang beton pracetak lebih cocok. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10- 40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang lebih besar. (Nurimah and Martini 2003).

Mengacu pada petunjuk teknik Tata Cara Pelaksanaan Pondasi Cerucuk Kayu yang diterbitkan oleh Dinas Pekerjaan Umum ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam penggunaan bahan cerucuk kayu seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Persyaratan Cerucuk Kayu

No	Uraian	Persyaratan
1	Diameter	Minimum 8 cm, maksimum 15 cm
2	Panjang	Minimum 3,5 m, maksimum 6 m
3	Kelurusan	Cukup lurus, tidak belok dan bercabang
4	Kekuatan	Minimum kelas kuat II PKKI 1973
5	Tegangan	Minimum Was kuat III untuk mutu A PKKI 1973

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum (1999)

2. 4 Tanah

2.4.1 Definisi Tanah Pasir

Pada umumnya, pasir yang terdapat di pesisir pantai (pasir pantai) merupakan butiran pasir bergradasi seragam/sama hingga bergradasi buruk dan kurang baik untuk bangunan tinggal. Pasir juga merupakan tanah non kohesif (*cohesionless soil*) yang mempunyai sifat antar butiran lepas (*loose*). Tanah non kohesif tidak mempunyai garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis. Tetapi dalam beberapa kondisi tertentu, tanah non kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental (Bowles 1986).

Tanah pasir adalah tanah dengan partikel berukuran besar. Tanah ini terbentuk dari batuan-batuan beku serta batuan sedimen yang memiliki butiran besar dan kasar atau yang sering disebut dengan kerikil. Tanah pasir memiliki kapasitas serat air yang rendah karena sebagian besar tersusun atas partikel berukuran 0,02 mm sampai 2 mm.

Tanah pasir memiliki tekstur yang kasar. Terdapat ruang pori-pori yang besar diantara butiran-butirannya sehingga kondisi tanah ini menjadi struktur yang lepas dan gembur. Dengan kondisi yang seperti itu menjadikan tanah pasir ini memiliki kemampuan yang rendah untuk dapat mengikat air. Pada dasarnya tanah pasir merupakan tanah yang tidak cocok untuk digunakan sebagai media tanam karena partikelnya yang besar dan kurang dapat menahan air.

Tanah pasir dalam kondisi padat cenderung memiliki sifat-sifat yang baik. Namun pada kondisi tertentu, seperti bila dalam kondisi lepas dan jenuh air, dapat memiliki kuat geser yang rendah ketika terjadi beban siklik seperti gempa bumi. Pada keadaan ini lapisan pasir kehilangan kuat gesernya atau berkurang. Secara umum, kuat geser tanah pasir disumbangkan oleh nilai sudut gesek internal. Guna meningkatkan kuat gesernya, perbaikan tanah pasir sering dilakukan dengan inklusi serat atau campuran semen.

2.4.2 Teori Perbaikan Tanah Pasir

Menurut Suyono.s dan Kazuto N. (2000) bilamana suatu tanggul dari tanah dibangun di atas tanah pondasi yang terdiri dari tanah pasiran lepas, maka kadang-kadang kita memperbincangkan stabilitas statisnya selama dan sesudah pelaksanaan. Berlainan dengan tanah pondasi yang dari tanah kohesi, maka kita tidak dapat mengharapkan suatu peningkatan kekuatan tanah berpasir itu. Jika suatu gaya gempa bekerja pada tanah pondasi berpasir maka sering tanah pasir itu mengalami peristiwa likuifaksi yang dapat mengakibatkan kerusakan yang berat.

Metode dasar untuk perbaikan tanah pondasi yang terdiri dari lapisan berpasir yang sering diterapkan saat ini adalah sama dengan metode yang diterapkan untuk pondasi tanah kohesi, yakni berdasarkan konsepsi

untuk memperbaiki karakteristik mekanis lapisan berpasir itu dengan tindakan pemampatan yaitu dengan peningkatan kepadatan pasir. Perbaikan kepadatan bermanfaat untuk peningkatan pemampatan yang berarti juga menghindarkan penurunan tanah pondasi. Masalah lain yang terjadi pada tanah kepasiran adalah masalah stabilitas pekerjaan penggalian atau peristiwa rembesan air tanah.

1. Metode tiang pasir padat.

Metode ini bukan hanya bisa digunakan untuk memperbaiki tanah tiang terdiri dari tanah kohesif akan tetapi metode ini juga dapat digunakan untuk memperbaiki tanah yang terdiri dari tanah berpasir lepas. Pada prinsipnya metode ini berdasarkan efek pemampatan oleh fibrasi selama pemancangan tiang-tiang pasir. Metode ini bertujuan untuk mengurangi angka pori tanah yang sekaligus meningkatkan gaya geser oleh kepadatan yang meningkat.

2. Metode vibro flotasi (vibroflotation method)

Pada metode ini, air disemprotkan ke dalam lapisan dengan bantuan suatu vibrator silinder. Air yang disemprotkan dan bergetar itu dapat memadatkan tanah pondasi yang terdiri dari tanah berpasir. Bersamaan dengan penyemprotan air, juga dimasukkan kerikil yang akan mengisi rongga-rongga yang terjadi oleh penyemprotan air. Tujuan pengisian dengan kerikil adalah sama dengan tujuan tiang pasir padat.

2.4.3 Tanah Embankment

Tanah yang digunakan untuk embankment dalam pelaksanaan uji test model diambil dari Kabupaten Gowa, Hasil analisis klasifikasi tanah berdasarkan USCS (Unified Soil Classification System) menunjukkan dalam kelompok MH&OH (Inorganic silts micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils elastistic silts) and (Organic clays of medium to high plasticity, organic silts). Dalam sistem USCS, "M" merujuk pada "silt" atau lanau, yang merupakan partikel tanah yang lebih halus daripada pasir tetapi lebih kasar daripada lempung. "H" berarti "high plasticity"

atau plastisitas tinggi. Jadi, tanah MH adalah lanau dengan plastisitas tinggi. Tanah jenis MH adalah tanah yang menantang dalam dunia teknik sipil dan konstruksi karena sifat plastisitasnya yang tinggi dan kecenderungannya untuk berubah volume dengan perubahan kadar air. Oleh karena itu, penanganan khusus sering diperlukan untuk memastikan stabilitas struktur yang didirikan di atasnya

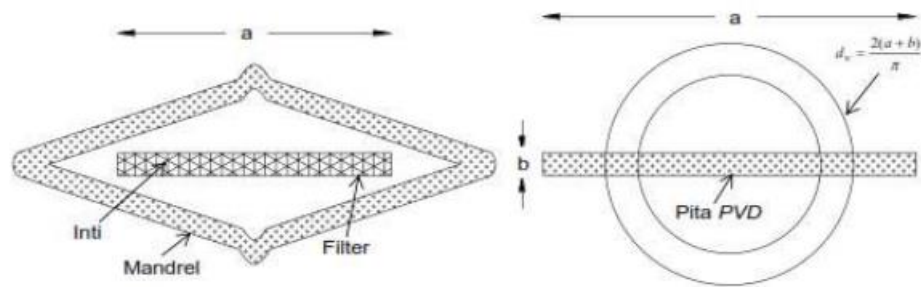
2.5 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Prefabricate vertical drain yaitu sistem drainase buatan yang dipasang ke dalam lapisan tanah lunak yang terbuat dari bahan sintesis yang dibagi atas dua komponen, yaitu *geotextile filter fabric* atau serat penyaring geotekstil yang akan mempermudah aliran air masuk ke dalam rongga-rongga tanah dan juga *plastic drain core* atau plastik inti drainase yang berlaku sebagai pengumpul penyalur. (Susiazti et al. 2020).

Tujuan penggunaan PVD apabila dikombinasikan dengan pre-loading adalah:

- a) Untuk meminimalkan waktu konsolidasi, terutama konsolidasi primer yang disebabkan beban di atasnya.
- b) Untuk meminimalkan pengaruh beban *surchage* yaitu terjadinya konsolidasi dalam waktu yang sangat lama, sehingga dengan adanya PVD dan preloading ini, pemampatan dapat selesai dengan waktu yang diinginkan.
- c) Untuk meningkatkan kekuatan dari tanah lunak yang disebabkan oleh pemampatan yang sudah selesai terjadi.

Perhitungan nilai diameter ekivalen (d_w) dari PVD pertama kali diteliti dan kemudian menghasilkan suatu rumusan oleh Hansbo (1979). Berdasarkan penelitian tersebut nilai diameter ekivalen PVD adalah dipengaruhi oleh nilai a yaitu lebar PVD dan b yaitu ketebalan PVD. Diameter equivalen dihitung berdasarkan ilustrasi pada Gambar 5. Jika keliling drainase vertikal bulat = πd_w dan keliling drainase empat persegi panjang = $2(a+b)$, maka: $d_w = 2(a+b)/\pi$



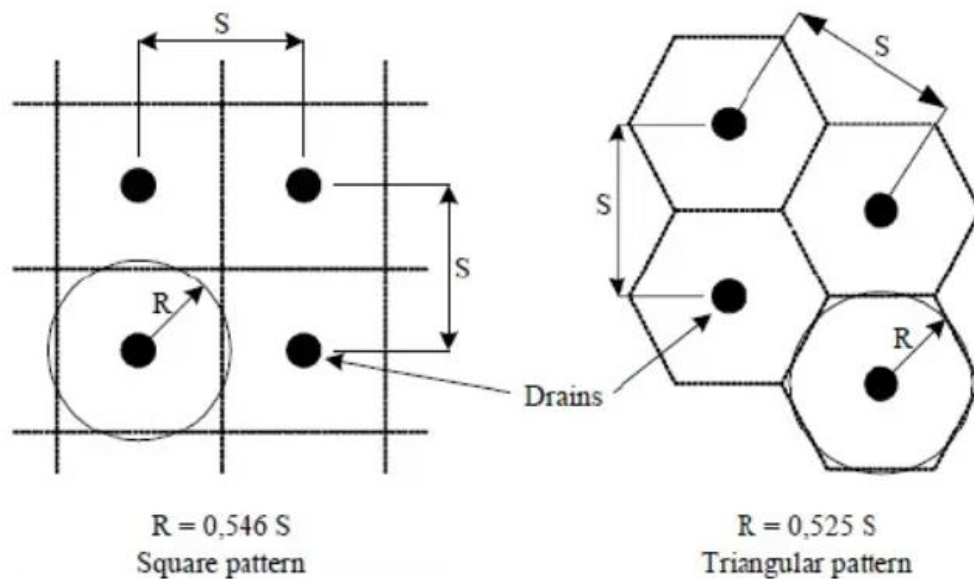
Gambar 5 Penentuan Diameter Ekvivalen PVD

Sumber : (Kololikiye, Zaika, and Harimurti 2021)

Terdapat 2 pola pemasangan drainase vertikal yang biasa dipakai di lapangan yaitu pola segitiga dan pola segi empat (Gambar 6). Diameter yang di gunakan pada pola pemasangan PVD dapat dihitung dengan persamaan (2.4) dan persamaan (2.5).

Pola Segiempat : $D = 1.13S$ (2.4)

Pola Segitiga: $D = 1.05S$ (2.5)



Gambar 6 Pola Pemasangan PVD

Sumber : (Lumbangaol 2020)

2. 6 Penurunan Tanah

Penurunan akibat beban merupakan akumulasi dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan seketika yang merupakan bentuk penurunan elastis terjadi dengan segera sesudah tegangan bekerja pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering atau jenuh sebagian tanpa melibatkan perubahan

kadar air (moisture content). Bekerjanya tegangan pada tanah yang berbutir halus yang jenuh (dan hampir jenuh) akan menghasilkan regangan yang tergantung kepada waktu. Penurunan yang tergantung terhadap waktu disebut penurunan konsolidasi.

Penurunan konsolidasi (consolidation settlement) yang terjadi dibagi menjadi penurunan konsolidasi primer (primary consolidation settlement) dan penurunan konsolidasi sekunder (secondary consolidation settlement). Penurunan konsolidasi primer merupakan hasil dari perubahan volume pada tanah kohesif jenuh akibat keluarnya air pori yang menempati rongga-rongga pada tanah. Konsolidasi sekunder merupakan proses kelanjutan dari konsolidasi primer, dengan proses yang sangat lambat. Penurunan konsolidasi sekunder terjadi sebagai akibat aksi deformasi partikel tanah yang bersifat plastis.

2. 7 Metode Analisis Aplikasi Surfer

Surfer adalah sebuah software yang digunakan untuk analisis data geostatistik dan pemetaan kontur. Metode analisis dengan Surfer melibatkan beberapa langkah penting, tergantung pada tujuan dan data yang tersedia. Pada penelitian ini surfer digunakan untuk pembuatan grid dan pemetaan kkontur. Berikut adalah penjelasan umum mengenai metode analisis menggunakan software Surfer :

- Pengumpulan data

Data input bisa berupa data titik (point data), data grid, atau data dari file GIS seperti shapefiles. Data titik biasanya berisi koordinat X, Y, dan nilai Z (misalnya ketinggian, kedalaman, atau parameter lainnya).

- Pembuatan grid

Salah satu fitur utama Surfer adalah kemampuan untuk membuat grid dari data titik. Proses ini disebut gridding, di mana software menginterpolasi data titik menjadi permukaan grid.

- Pemetaan Kontur

Setelah grid dibuat, Anda dapat membuat peta kontur yang menunjukkan isoline atau garis dengan nilai Z yang sama. Peta kontur berguna untuk memvisualisasikan variasi spasial suatu parameter

2. 8 Penelitian Terdahulu

- “STUDI PARAMETRIK POTENSI LIKUIFAKSI DAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH BERDASARKAN UJI SONDIR” oleh (Muntohar and Studi 2012). Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahapan yang meliputi : (1) Pengumpulan data lapangan tentang sifat- sifat fisis dan mekanis contoh tanah guna memperoleh sifat-sifat tanah, (2) Analisis likuifaksi dan penurunan permukaan tanah, (3) Analisis Indeks Potensi Likuifaksi. Hasil dari penelitian ini adalah tingkat risiko likuifaksi meningkat dengan bertambahnya nilai percepatan gempa di permukaan tanah dan magnitudo gempa. Lokasi di bangunan unit A merupakan area yang sangat rentan terhadap peningkatan percepatan gempa di permukaan tanah bila dibandingkan dengan bangunan unit B. Peningkatan percepatan gempa dari 0,25 g menjadi 0,6 g menyebabkan indeks potensi likuifaksi bertambah hingga mencapai 5–7 kali, sehingga risiko likuifaksi di bangunan A menjadi tinggi dan di bangunan unit B menjadi sedang. Keadaan ini dapat disebabkan oleh litologi tanah yang berbeda antara lokasi di unit A dan B.
- “PENELUSURAN POTENSI LIKUIFAKSI PANTAI PADANG BERDASARKAN GRADASI BUTIRAN DAN TAHANAN PENETRASI STANDAR” oleh (Hakam and Darjanto 2013). Pada penelitian ini Hasil penelusuran potensi likuifaksi untuk daerah. Pantai Padang menghasilkan bahwa gradasi butiran tanah dilokasi tersebut memiliki potensi likuifaksi. Hasil tersebut dikompilasikan dengan analisis potensi likuifaksi berdasarkan nilai pukulan penetrasi standar. Kedalaman tanah yang berpotensi terlikuifaksi untuk Pantai Padang berada pada lapisan dengan kedalaman kurang dari 10m.
- “MICROPILES MADE OF REINFORCED POLYURETHANE RESINS: LOAD TESTS AND EVALUATION OF THE BEARING CAPACITY” oleh (Valentino and Stevanoni 2010) . Jadi salah satu hasil dari pengujian ini adalah uji kompresi yang dilakukan pada micropiles RR di tanah berlumpur telah menunjukkan bagaimana micropiles jenis ini dapat mengadopsi metodologi serupa untuk perhitungan daya dukungnya.

- “FOUNDATION IMPROVEMENT OF HISTORIC BUILDINGS BY MICRO PILES, MUSEUM ISLAND, BERLIN AND ST. KOLUMBA, COLOGNE” oleh (Dietz and Schürmann 2006) Dalam kasus seperti itu tumpukan mikro sering digunakan untuk rehabilitasi pondasi. Dua contoh, Pulau Museum di Berlin dan St. Kolumba di Koln, telah diambil untuk menunjukkan fleksibilitas yang tinggi dan cakupan luas dari penggunaan metode ini.
- “MITIGATION OF LIQUEFACTION USING STONE COLUMNS” oleh (Malidareh and Choobbasti 2008) . Analisis numerik untuk implementasi kolom batu di daerah dengan risiko likuifaksi tinggi menunjukkan efisiensi yang tinggi dari teknik ini untuk mengurangi risiko likuifaksi.
- “IMPROVEMENT OF LOOSE SANDY SOIL DEPOSITS USING MICROPILES” oleh (Moayed and Naeini 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan mikropile, respon tanah gembur berpasir berlumpur di bawah pembebanan permukaan dapat ditingkatkan secara signifikan dan daya dukung tanah berpasir gembur meningkat pesat. Juga, modulus reaksi tanah dasar meningkat. Nilai SPT lapisan tanah meningkat setelah perbaikan tanah dengan pemasangan mikropile. Oleh karena itu, ketahanan likuifaksi tanah berpasir juga ditingkatkan.