

**SKRIPSI**

**EVALUASI PERUBAHAN TEGANGAN AIR PORI PADA  
TANAH PASIR DENGAN PERKUATAN CERUCUK KAYU  
AKIBAT BEBAN GEMPA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**KHEIDIR ALI  
D011 19 1040**



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

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****EVALUASI PERUBAHAN TEGANGAN AIR PORI PADA  
TANAH PASIR DENGAN PERKUATAN CERUCUK KAYU  
AKIBAT BEBAN GEMPA**

Disusun dan diajukan oleh

**KHEIDIR ALI**  
**D011 19 1040**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 22 November 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D**

NIP: 196007301986031003

Pembimbing Pendamping,



**Ir. Sitti Hijraini Nur, ST, MT.**

NIP: 197711212005012001

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**

NIP. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Kheidir Ali  
NIM : D011191040  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Evaluasi Perubahan Tegangan Air Pori Pada Tanah 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, 30 November 2023

Yang Menyatakan



Kheidir Ali

## ABSTRAK

**KHEIDIR ALI.** *Evaluasi Perubahan Tegangan Air Pori Pada Tanah Pasir Dengan Perkuatan Cerucuk Kayu Akibat Beban Gempa.* (Pembimbing : Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D dan Ir. Sitti Hijraini Nur, ST, MT)

Salah satu bahaya yang sering terjadi di Indonesia adalah gempa bumi yang dilanjut bahaya susulan seperti likuifaksi. 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 untuk mengetahui pengaruh naiknya tekanan air pori akibat penggunaan perkuatan cerucuk kayu dan perkuatan cerucuk kayu + PVD (*Hybrid pile*) pada tanah pasir yang berpotensi likuifaksi. 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. Hasil pengujian menunjukkan pada tanah tanpa perkuatan mengalami Initial Liquefaction dikarenakan peningkatan air pori berlebih dan air pori tidak dapat mengalir keluar. Begitu juga dengan perkuatan cerucuk kayu, peningkatan tekanan air pori  $\Delta u$  akibat beban seismik yang masih berlebih sehingga masih menimbulkan likuifaksi. Sedangkan untuk Pengujian perkuatan cerucuk kayu + PVD ini efektif mempercepat proses keluarnya air pori berlebih dalam tanah, mengurangi durasi nilai tekanan air pori berlebih dan memungkinkan aliran masuk fluida vertikal dan horizontal, sehingga tidak terjadi peningkatan tekanan air pori akibat beban seismik ( $\Delta u$ ) tidak sampai batas puncak terjadinya suatu keadaan *Initial Liquefaction*.

Kata Kunci: Likuifaksi, Cerucuk kayu, *Hybrid Pile*, Air pori

## ABSTRACT

**KHEIDIR ALI.** *Evaluation Of Pore Water Stress Changes In Sand Soil With Reinforcement Of Wood Piles Due To Earthquake Loads.* (Supervisor: Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D and Ir. Sitti Hijraini Nur, ST, MT)

One of the dangers that often occur in Indonesia is an earthquake that is continued by aftershocks such as liquefaction. One of the handling methods for potentially liquefaction sandy soil is to increase the bearing capacity of the soil. So that testing the use of wood piles as one of the methods to handle potentially liquefaction soil is expected to increase the carrying capacity of potentially liquefaction soil. The purpose of this study was to determine the effect of rising pore water pressure due to the use of wood pile reinforcement and wood pile reinforcement + PVD (Hybrid pile) on sand soils that have the potential for liquefaction. The test method used is a laboratory scale test by testing the soil reinforcement model on loose sand soil with a relative density of 40% with a seismic load for 37 seconds with an acceleration of  $PGA = 0.3$  g frequency of 0.78 Hz. The test results showed that the soil without reinforcement experienced Initial Liquefaction due to an increase in excess pore water and pore water can not flow out. Likewise with the reinforcement of wood piles, increased pore water pressure  $\Delta u$  due to excessive seismic loads that still cause liquefaction. As for the test of wood + PVD pile reinforcement, it effectively accelerates the process of excess pore water discharge in the soil, reduces the duration of excess pore water pressure values and allows vertical and horizontal fluid inflow, so that there is no increase in pore water pressure due to seismic loads ( $\Delta u$ ) not to the peak of the occurrence of an Initial Liquefaction state.

Keywords: Liquefaction, Wood Pile, Hybrid Pile, Pore Water

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| SAMPUL.....  | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | ii   |
| PERNYATAAN KEASLIAN.....   | iii  |
| ABSTRAK .....  | iv   |
| ABSTRACT.....  | v    |
| DAFTAR ISI.....  | vi   |
| DAFTAR GAMBAR .....  | vii  |
| DAFTAR TABEL.....  | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | ix   |
| KATA PENGANTAR .....   | x    |
| BAB I PENDAHULUAN .....  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....   | 2    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                      | 2    |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                                     | 3    |
| 1.5 Ruang Lingkup.....   | 3    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                     | 4    |
| 2. 1 Gempa bumi.....   | 4    |
| 2. 2 Likuifaksi .....  | 7    |
| 2. 3 Kayu.....   | 13   |
| 2. 4 Tanah Pasir.....  | 17   |
| 2. 5 Prefabricated Vertical Drain (PVD).....                     | 18   |
| 2. 6 Water Pressure.....   | 20   |
| 2. 7 Penelitian Terdahulu .....                                  | 20   |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                                   | 24   |
| 3.1 Lokasi Penelitian.....                                       | 24   |
| 3.2 Metode Pengumpulan Data.....                                 | 24   |
| 3.3 Kerangka Penelitian .....                                    | 25   |
| 3.5 Alat dan Bahan.....  | 25   |
| 3.6 Rancangan Penelitian.....                                    | 29   |
| 3.7 Prosedur Pelaksanaan.....                                    | 33   |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                | 39   |
| 4.1 Data Teknis Benda Uji.....                                   | 39   |
| 4.1.1 Data Teknis Kayu .....                                     | 39   |
| 4.1.2 Data Teknis Tanah.....                                     | 39   |
| 4.1.3 Data Teknis <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)..... | 42   |
| 4.2 Uji model pada tanah potensi likuifaksi.....                 | 42   |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                                  | 50   |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 50   |
| 5.2 Saran.....   | 50   |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 51   |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1 Tipe pergerakan sesar gempa bumi (1) Turun, (2) Naik, (3) Mendatar, (4) Sesar Oblique .....            | 7  |
| Gambar 2 Proses Terjadinya Likuifaksi.....  | 10 |
| Gambar 3 Penentuan Diameter Ekvivalen PVD .....   | 19 |
| Gambar 4 Pola Pemasangan PVD.....   | 20 |
| Gambar 5 Bagan Alir Penelitian .....  | 25 |
| Gambar 6 Lokasi Pengambilan sampel kayu .....   | 26 |
| Gambar 7 Pasir pantai Galesong Kab. Takalar, Sulawesi Selatan .....   | 27 |
| Gambar 8 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah/Pasir .....  | 27 |
| Gambar 9 Skema Pemasangan Instrumen Alat Uji Mode .....   | 30 |
| Gambar 10 Skema Uji Model Tanpa Perkuatanalat Dan Bahan Penelitian.....   | 30 |
| Gambar 11 Skema Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu .....  | 31 |
| Gambar 12 Skema Uji Model Perkuatan Cerucuk Kayu + PVD ( <i>Hybrid Pile</i> ) ...                               | 31 |
| Gambar 13 Skema Jarak Pemasangan Cerucuk Kayu .....   | 32 |
| Gambar 14 Tampak Atas Model Uji.....  | 32 |
| Gambar 15 Model pengujian tanpa perkuatan .....   | 34 |
| Gambar 16 (a) Cerucuk kayu, (b) Jarak pemasangandan (c) Pola pemasangan ...                                     | 35 |
| Gambar 17 Uji model perkuatan cerucuk kayu.....   | 35 |
| Gambar 18 (a). Cerucuk kayu, (b). PVD, (c). Kawat ikat dan (d). Hybrid pile....                                 | 36 |
| Gambar 19 Pola pemasangan Model cerucuk kayu +PVD.....  | 37 |
| Gambar 20 Uji model perkuatan cerucuk kayu + PVD (Hbrid pile). .....  | 38 |
| Gambar 21 Instrument alat pengukur dalam uji model.....   | 38 |
| Gambar 22 Grafik perubahan tekanan air pori pada tanah tanpa perkuatan. ....                                    | 43 |
| Gambar 23 (A) Sesudah pengujian (B) Sebelum pengujian .....   | 44 |
| Gambar 24 Grafik perubahan tekanan air pori pada tanah perkuatan cerucuk kayu. ....                             | 45 |
| Gambar 25 (A) Sesudah pengujian (B) Sebelum pengujian .....   | 46 |
| Gambar 26 Grafik perubahan tekanan air pori pada tanah perkuatan cerucuk kayu + PVD ( <i>Hybrid pile</i> )..... | 47 |
| Gambar 27 (A) Sesudah pengujian (B) Sebelum pengujian .....   | 48 |
| Gambar 28 Variasi perubahan tekanan air pori akibat PGA = 0,3g.....   | 48 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 1 Kekuatan Kayu Menurut Jenis Pengelompokannya .....              | 17 |
| Tabel 2 Persyaratan Cerucuk Kayu.....                                   | 17 |
| Tabel 3 Penelitian Terdahulu .....                                      | 20 |
| Tabel 4 Daftar Alat – Alat Pengujian.....                               | 27 |
| Tabel 5 Data teknis kayu <i>Eucalyptus Pellita</i> .....                | 39 |
| Tabel 6 Data Teknis Tanah Pasir Pantai Galesong .....                   | 40 |
| Tabel 7 Rekapitulasi Kepadatan Relatif (Dr) pasir Galesong .....        | 40 |
| Tabel 8 Data Teknis Tanah Embakment .....                               | 41 |
| Tabel 9 Data teknis <i>Preabricated Vertical Drain (PVD)</i> .....      | 42 |
| Tabel 10 Rekapitulasi Perubahan Tekanan Air Pori Akibat PGA = 0,3g..... | 49 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |    |
|---|----|
| <b>Lampiran 1.</b> Dokumentasi .....          | 55 |
| <b>Lampiran 2.</b> Data Hasil Pengujian ..... | 58 |
| <b>Lampiran 3.</b> Spesifikasi PVD.....       | 60 |

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“EVALUASI TEKANAN AIR PORI PADA TANAH 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. Kedua orang tua tercinta, yaitu mama **Nadira** dan juga bapak **Ridwan** atas kasih sayang dan juga dukungan selama ini, baik secara material maupun spiritual, karena penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa nasihat dan doa kepada Allah SWT.
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 Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin MSc., Ph.D.**, 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. **Ibu Ir. Sitti Hijraini Nur, S.T., M.T.**, 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** 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, 30 November 2023

Penulis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam dunia konstruksi, bangunan biasanya diletakkan diatas tanah. Maka dari itu dibutuhkan daya dukung tanah yang kondisinya mampu menopang beban bangunan tersebut dengan aman. Untuk mengetahui baik tidaknya suatu karakteristik tanah, perlu dilakukan pengujian lapangan maupun pengujian di laboratorium. Hasil dari investigasi tersebut dapat menjadi bahan pertimbangan bagi perencana untuk menyimpulkan perilaku karakteristik sebuah tanah dan upaya untuk mencegah adanya gangguan atau bahaya bagi keamanan dan kestabilan tanah.

Salah satu bahaya yang sering terjadi di Indonesia adalah gempa. Hal ini dikarenakan indonesia memiliki kondisi dimana lempeng-lempeng didunia saling bertemu, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Akibatnya gempa dari tahun ketahun lebih rentan terjadi bersamaan dengan ikut sertanya bahaya ikutan seperti likuifaksi menimbulkan kerusakan pada bangunan bahkan sampai memakan korban jiwa. Likuifaksi menjadi salah satu ancaman bahaya yang terjadi bersamaan dengan adanya gempa bumi pada skala magnitude yang relatif besar.

Likuifaksi merupakan fenomena lapisan tanah yang kehilangan kekuatan disebabkan terjadinya guncangan berulang-ulang pada waktu singkat. Akibatnya lapisan tanah yang menjadi lapisan tanah pondasi mengalami penurunan daya dukung pondasi yang membuat kegagalan pada pondasi dan rusaknya struktur bangunan yang terletak di atasnya. Fenomena likuifaksi dapat memberi dampak kerusakan yang bersifat masif dalam permukaan suatu daerah, dikarenakan likuifaksi dapat memicu pergerakan pada tanah dalam mekanisme yang kompleks sehingga ancaman bahaya bagi masyarakat dan infrastruktur tingkatnya menjadi lebih tinggi.

Berbagai metode telah dilakukan untuk menangani daerah rawan likuifaksi baik dalam penanganan dengan cara meningkatkan daya dukung tanah maupun membuat desain pondasi yang akan digunakan pada bangunan, seperti *Improvement*

*of loose sandy soil deposits using micropiles* Reza Ziaie Moayed, et al (2012), *Evaluation of stone columns versus liquefaction phenomenon* Arsalan Salahi, et al (2015), *Centrifuge modelling of inclined micro-piles for liquefaction remediation of existing buildings. Experimental study on mitigation of liquefaction-induced vertical ground displacement by using gravel and geosynthetics* Hendra Setiawan, et al (2018). Dari berbagai metode penelitian tersebut solusi untuk meningkatkan daya dukung tanah yang berpotensi likuifaksi yaitu dengan menggunakan *micro pile*.

Di Indonesia penggunaan *micro pile* dilakukan dengan memanfaatkan material lokal berupa cerucuk kayu yang kesediaan materialnya terbilang melimpah, sehingga *micro pile* menggunakan cerucuk kayu dapat menjadi penanganan untuk wilayah yang kondisi tanahnya berpotensi mengalami likuifaksi. Berdasarkan latar belakang tersebut penulis mengangkat judul **“EVALUASI PERUBAHAN TEGANGAN AIR PORI PADA TANAH 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 pengaruh perubahan tekanan air pori akibat beban gempa yang diberikan pada tanah pasir tanpa perkuatan.
2. Bagaimana pengaruh perubahan tekanan air pori akibat beban gempa yang diberikan pada tanah pasir menggunakan perkuatan cerucuk.
3. Bagaimana pengaruh perubahan tekanan air pori akibat beban gempa yang diberikan pada tanah pasir menggunakan cerucuk kombinasi *Prevabricated 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 pengaruh perubahan tekanan air pori akibat beban gempa pada tanah pasir tanpa perkuatan.
2. Mengetahui pengaruh perubahan tekanan air pori akibat beban gempa pada tanah pasir menggunakan perkuatan cerucuk.
3. Mengetahui pengaruh perubahan tekanan air pori akibat beban gempa pada tanah pasir menggunakan cerucuk kombinasi *Preabricated Vertical Drain* (PVD).

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari hasil yang di peroleh dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi atau acuan pada keilmuan Teknik Sipil terkhusus yang mempunyai keterkaitan tentang perubahan tekanan air pori pada tanah 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**

Gempa bumi merujuk pada fenomena dimana bumi bergetar atau bergoncang karena pergerakan atau pergeseran lapisan batuan di permukaan bumi yang terjadi secara tiba-tiba sebagai akibat dari pergerakan lempeng tektonik. Gempa bumi yang terjadi akibat aktivitas pergerakan lempeng tektonik dikenal sebagai gempa bumi tektonik. Walaupun demikian, gempa bumi juga bisa terjadi karena aktivitas gunung berapi yang dikenal sebagai gempa bumi vulkanik. (Sunarjo et al., 2012)

Gerakan yang tiba-tiba dari lapisan batuan dalam bumi menghasilkan energi yang menyebar ke segala arah dalam bentuk gelombang gempa atau seismik. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu seperti bangunan dan infrastruktur, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan fisik dan korban jiwa. Dampak yang diakibatkan oleh gempa bumi sangat luar biasa karena menyebar ke wilayah yang luas, bahkan melintasi batas negara dan benua. Gempa bumi memiliki getaran yang kuat dan menyebar ke segala arah, sehingga mampu menghancurkan bangunan-bangunan sipil yang kuat sekalipun, sehingga menimbulkan banyak korban jiwa. Selain itu gempa bumi sering kali diikuti oleh bencana alam lain yang lebih dahsyat seperti tanah longsor dan tsunami.

#### **2.1.2 Penyebab Gempa Bumi**

Gempa bumi dapat diklasifikasikan berdasarkan penyebabnya menjadi beberapa jenis, termasuk gempa bumi tektonik, gempa bumi vulkanik, gempa bumi akibat runtuhannya, gempa bumi akibat jatuhnya meteor, dan gempa bumi buatan manusia.

Gempa bumi tektonik terjadi ketika energi elastis yang tersimpan dalam lempeng tektonik dilepaskan. Dinamika yang terjadi pada lapisan mantel bumi menyebabkan lempeng tektonik menerima terus-menerus energi dari lapisan tersebut. Lempeng tektonik terdiri dari batuan yang elastis, sehingga

energi yang diterima dari mantel disimpan sebagai energi elastis. Ketika energi yang diterima melebihi batas elastisitas lempeng tektonik, energi tersebut akan dilepaskan dalam bentuk deformasi plastis dan gelombang elastis. Daerah yang melepaskan energi elastis biasanya daerah yang lemah, yang mengalami deformasi plastis, sementara daerah yang jauh dari sumber gempa akan mengalami deformasi plastis dalam bentuk gelombang seismik. Proses deformasi plastis di sekitar sumber gempa bumi dapat menghasilkan pergerakan lempeng tektonik dalam jangka waktu yang lama. Jenis pergerakan tersebut antara lain penunjaman antara lempeng samudra dan lempeng benua, tumbukan antara dua lempeng benua, pergerakan lempeng samudra yang menjauh, dan pergerakan lempeng yang saling bergeser. Dikarenakan tepian lempeng yang tidak rata maka jika bergeseran timbullah friksi. Friksi inilah yang kemudian melepaskan energi guncangan gempa bumi.

Gempa bumi vulkanik adalah jenis gempa bumi yang terjadi akibat aktivitas gunung api. Tekanan pada magma yang berada di bawah gunung api menyebabkannya melepaskan energinya secara tiba-tiba, yang pada gilirannya menyebabkan getaran tanah. Selain itu, pelepasan energi ini juga dapat menyebabkan gerakan magma secara perlahan. Gempa bumi tektonik dapat menyebabkan gempa bumi vulkanik. Naiknya magma ke permukaan dapat dipicu oleh pergeseran lempeng tektonik di sesar bumi. Biasanya, ini terjadi di batas lempeng tektonik yang mengalami konvergensi, dimana lempeng saling mendorong satu sama lain. Perbedaan terletak pada efek guncangan yang lebih dominan pada gempa vulkanik akibat tekanan magma, sementara pada gempa bumi tektonik, guncangan disebabkan oleh langsungnya benturan antara dua lempeng tektonik. Jika lempeng tektonik yang terlibat adalah lempeng benua dan lempeng samudra, deformasi di dalam laut akan terjadi yang kemudian dapat menyebabkan terjadinya tsunami, karena batas lempeng umumnya berada di dasar laut (Sunarjo et al., 2012).

Gempa bumi runtuh adalah jenis gempa bumi lokal yang terjadi ketika gua di daerah batuan kapur atau lokasi pertambangan mengalami keruntuhan. Sementara itu, gempa bumi jatuhnya meteor terjadi ketika

meteorit atau objek dari luar angkasa jatuh ke permukaan bumi. Contohnya terjadi di Arizona, Amerika Serikat, dimana bekasnya berupa lekukan tanah yang luas seperti kawah. Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia terjadi akibat tindakan seperti peledakan dinamit ledakan nuklir, bom, atau pukulan palu ke permukaan bumi.

### **2.1.3 Kedalaman dan Kekuatan Gempa Bumi**

Fowler (1990) mengklasifikasikan 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 guncangan 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 :

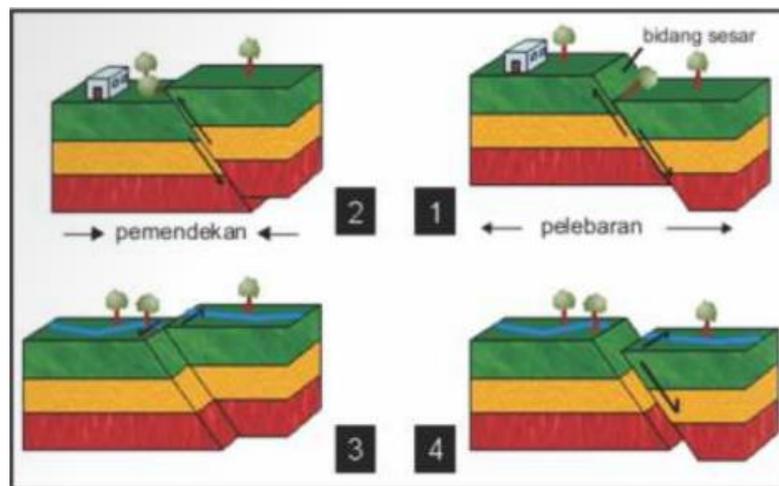
- a. Gempa bumi sangat besar  $M > 8$  SR
- b. Gempa bumi besar  $M 7 - 8$  SR
- c. Gempa bumi merusak  $M 5 - 6$  SR
- d. Gempa bumi sedang  $M 4 - 5$  SR
- e. Gempa bumi kecil  $M 3 - 4$  SR
- f. Gempa bumi mikro  $M 1 - 3$  SR
- g. Gempa bumi ultra mikro  $M < 1$  SR

### **2.1.4 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 1.



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

Sumber : (Sunarjo et al., 2012)

## 2.2 Likuifaksi

### 2.2.1 Definisi Likuifaksi

Proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air akan menjadi cair akibat tekanan air pori yang meningkat hingga titik sama besar dengan tegangan total akibat adanya beban siklik sehingga tegangan efektif tanah akan berkurang hingga sama dengan nol. Hal ini menunjukkan bahwa likuifaksi merupakan fenomena suatu tanah kehilangan banyak kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) dalam waktu yang singkat. Saat terjadi gempa, gaya geser yang ditimbulkan mengakibatkan pasir bereaksi sehingga tekanan air pori meningkat. Akibat getaran siklik yang terjadi dalam waktu singkat ini tanah kehilangan banyak kekuatan atau kekakuannya sehingga

tidak dapat mendukung struktur diatas dan menjaga untuk tetap stabil. (Idriss & R.W. Boulanger, 2008)

Pasir dengan kepadatan lepas sampai sedang dan pasir berlumpur yang jenuh air cenderung bereaksi dengan beban siklik sehingga tanah kehilangan kuat geser akibat menurunnya tegangan efektif tanah seiring dengan meningkatnya tegangan air pori. Peristiwa likuifaksi jika dilihat secara visual ditandai dengan munculnya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan pasir (*sand soil*), tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan, rembesan air melalui retakan tanah, penurunan muka tanah dan perpindahan lateral.

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

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

dengan:

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

$\sigma$  = 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:

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

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

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

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

$\gamma_{sat}$  = 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

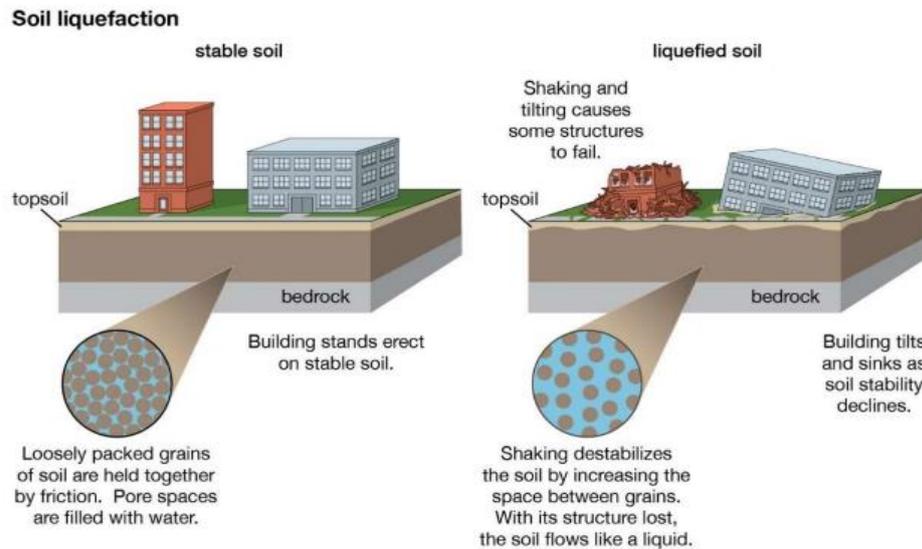
$\gamma_w$  = berat volume air ( $10 \text{ kN}/m^3$ )

Peningkatan tekanan air pori menyebabkan aliran air naik ke permukaan tanah dalam bentuk semburan lumpur atau pasir. Untuk keadaan likuifaksi ini, tegangan efektif tanah menjadi sama dengan nol dan partikel tanah saling melepaskan seolah-olah mengambang di air. Struktur yang berada di atas endapan tanah pasir yang terlikuifaksi saat gempa bumi akan tenggelam atau jatuh dan saluran yang terkubur akan mengapung ke permukaan (Seed, 1971).

### **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 et al., 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 2



Gambar 2 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-koheksi*). Diperkirakan tanah non-koheksi 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 (Dr)

Istilah kepadatan relatif (*relative density*) umumnya dipakai untuk menunjukkan tingkat kepadatan dari tanah berbutir (*granular soil*) di lapangan. Kepadatan relatif didefinisikan dalam Persamaan 2.3

$$Dr = \frac{e_{maks} - e}{e_{maks} - e_{min}} \times 100 \quad (2.3)$$

Dimana:

Dr = Kepadatan relatif

e = Angka pori tanah

$e_{min}$  = Angka pori tanah dalam keadaan paling padat

$e_{maks}$  = Angka pori tanah dalam keadaan paling lepas

Kepadatan relatif juga dapat dinyatakan dengan istilah berat volume kering maksimum dan minimum yang mungkin yaitu persamaan 2.4

$$Dr = \left[ \frac{\gamma_d - \gamma_{d(\text{Min})}}{\gamma_{d(\text{Max})} - \gamma_{d(\text{Min})}} \right] \times \left[ \frac{\gamma_{d(\text{Max})}}{\gamma_d} \right] \frac{\gamma_{d(\text{Max})}}{\gamma_d} \quad (2.4)$$

Dimana:

$Dr$  = Kepadatan relatif dinyatakan dalam persen

$\gamma_d$  = Berat volume tanah asli dilapangan (pada angka pori  $e$ )

$\gamma_{d(\text{Max})}$  = Berat volume kering tanah dalam keadaan yang paling lepas (pada angka pori maksimum,  $e_{\text{maks}}$ )

$\gamma_{d(\text{Min})}$  = Berat volume kering tanah dalam keadaan yang paling lepas (pada angka pori minimum,  $e_{\text{min}}$ )

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 Finn et al. (1970) dan Seed et al. (1975), 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 magnitudo 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, unsur ini merupakan komponen terbesar pada kayu, meliputi 70% berat kayu.
- b. Lignin, merupakan komponen pembentuk kayu yang meliputi 18% - 28% dari berat kayu. Komponen tersebut berfungsi sebagai pengikat satuan struktural kayu dan memberikan sifat keteguhan kepada kayu.
- 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 pengenal 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 Ariestadi (2008), 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 <sup>3</sup> ) | Tegangan Tekanan Mutlak (kg/cm <sup>3</sup> ) | Berat Jenis (BJ) |
|------------|--|---|------------------|
| I          | ≥ 1100                                       | ≥ 650   | ≥ 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   | ≤ 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 & 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 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.

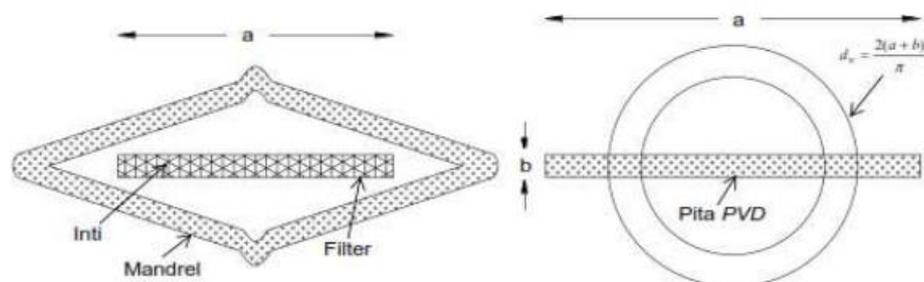
## **2.5 Prefabricated Vertical Drain (PVD)**

*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:

- Untuk meminimalkan waktu konsolidasi, terutama konsolidasi primer yang disebabkan beban di atasnya.
- 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.
- 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 3. Jika keliling drainase vertikal bulat =  $\pi d_w$  dan keliling drainase empat persegi panjang =  $2(a+b)$ , maka:  $d_w = 2(a+b)/\pi$



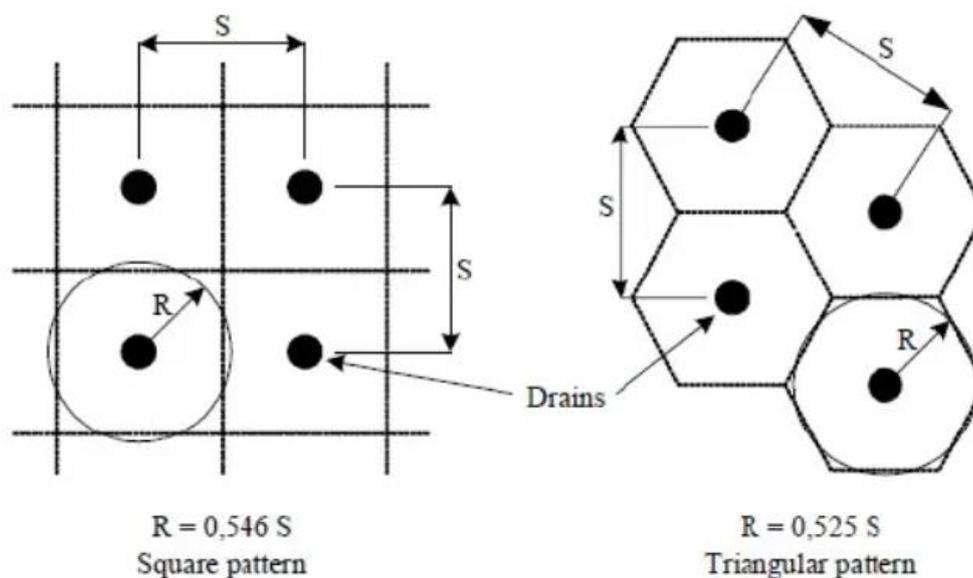
Gambar 3 Penentuan Diameter Ekivalen PVD

Sumber : (Kololikiye et al., 2021)

Terdapat 2 pola pemasangan drainase vertikal yang biasa dipakai di lapangan yaitu pola segitiga dan pola segi empat (Gambar 4). Diameter yang di gunakan pada pola pemasangan PVD dapat dihitung dengan persamaan (2.6) dan persamaan (2.7).

Pola Segiempat :  $D = 1.13S$  (2.6)

Pola Segitiga:  $D = 1.05S$  (2.7)



Gambar 4 Pola Pemasangan PVD

Sumber : (Lumbangaol, 2020)

## 2.6 Water Pressure

Sensor tekanan air adalah jenis sensor tekanan yang biasa digunakan dalam praktek industri. Ini secara luas digunakan dalam berbagai lingkungan industri yang dinamis, pemeliharaan air dan rekayasa tenaga air, peralatan konstruksi transportasi, sistem kontrol produksi, teknologi aerospace, teknologi kapal, pipa dan sebagainya.

Sensor tekanan air dapat mendeteksi informasi yang terukur dan mengubah informasi yang terdeteksi menjadi sinyal listrik atau bentuk lain dari keluaran informasi sesuai dengan aturan tertentu, untuk memenuhi transmisi informasi, pemrosesan, penyimpanan, tampilan, catatan dan persyaratan kontrol.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 3 Penelitian Terdahulu

| No | Penulis                                    | Judul   | Hasil penelitian  | Publikasi  |
|----|--|---|---|--|
| 1  | R. Dandel, J. Sumampouw, O. Sompie et all. | Pengaruh Tekanan Air Pori Terhadap Perkuatan Tembok | Hasil analisis tekanan air pori pada tanah asli dengan perkuatan tembok penahan (gravitasi) di Kawasan Mission Center Manado, menunjukkan diketinggian MAT 6,0 m adalah tanah mengalami | TEKNO<br>Vol.15/No.67/April<br>2017 ISSN : 0215-9617 |

| No | Penulis   | Judul   | Hasil penelitian  | Publikasi  |
|----|---|---|---|--|
|    |   | Penahan dan Geotextile  | tekanan air pori terbesarnya dengan nilai -59,60 KN/m <sup>2</sup> dan diketinggian MAT 2,0 m tanah mengalami tekanan air pori terkecilnya dengan nilai -38,13 KN/m <sup>2</sup> , sedangkan untuk tekanan air pori pada tanah asli dengan perkuatan Geotextile “PET WOVEN GEOTEXTIL”, menunjukkan diketinggian MAT 6,0 m adalah tanah mengalami tekanan air pori terbesarnya dengan nilai -80,92 KN/m <sup>2</sup> dan diketinggian MAT 2,0 m tanah mengalami tekanan air pori terkecilnya dengan nilai -43,87 KN/m <sup>2</sup> , sehingga bisa ditarik kesimpulan semakin tinggi muka air tanah maka semakin besar tekanan air pori. |  |
| 2  | Richard Salauwe, Fabian J. Manoppo dan Saartje Monintja | Analisa Perkuatan Tanah Dengan Bambu Sebagai Micro Pile Pada Tanah Liquefaction (Proyek PLTU Manokwari) | Hasil dari penelitian menyatakan bahwa daya dukung tanah terlikuifaksi adalah 1992,145 KN/m, setelah diberikan perkuatan dengan bambu pemodelan micropile, hasil daya dukung meningkat menjadi 2219,355 dari metode Meyerhof, dan 3609,723 dari metode Luciano Decourt. Sedangkan menggunakan bantuan program Plaxis 3D, daya dukung menjadi lebih kecil yaitu 7,36 KN. Sedangkan untuk penurunan tanah setelah terlikuifaksi sebesar 2,987127 mm, dan setelah perkuatan, penurunan menjadi 0,82717 mm dari Qp dan Qs   | Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.5 No.2, September 2015 (351-361) ISSN: 2087-9334 |

| No | Penulis                   | Judul  | Hasil penelitian   | Publikasi  |
|----|---------------------------|--|--|--|
|    |                           |  | meyerhof, dan untuk $Q_p$ dan $Q_s$ Luciano Decourt 1,990 mm. Jika di bandingkan dengan program plaxis 3D, penurunan yang terjadi akan lebih kecil = 0,0022940 mm, dari pada cara analitisnya.   |  |
| 3  | Al-huda,<br>Nafisah       | Perilaku Tanah Dasar Fondasi Embankment dengan Perkuatan Geogrid dan Drainase Vertikal | Pengaruh pemasangan drainase vertikal pada tanah dasar dapat mempercepat penurunan kelebihan tekanan air pori baik dalam area maupun di luar area pemasangan drainase vertikal. Kelebihan tekanan air pori yang terjadi pada normal embankment akan meningkat segera setelah pembebanan dan berkurang setelah mengalami masa konsolidasi. Besarnya peningkatan tekanan air pori sama dengan besarnya pertambahan tegangan yang diterapkan dan besarnya pengurangan kelebihan tekanan air pori tergantung lamanya masa konsolidasi. | Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil. ISSN 0853-2982      |
| 4  | K. Rizal, D. Agustawijaya | Perubahan Tekanan Air Pori Tanah Akibat Beban Kejut Kendaraan Pada Jembatan Banyumulek | Perilaku tanah pada jembatan banyumulek setelah mengalami penambahan beban kejut (tegangan dinamik) kendaraan pada saat terbebani beban maksimal mengalami perubahan tekanan air pori tanah yang signifikan sebesar 450.00 kN/m <sup>2</sup> atau sebesar 140 % dari kondisi setelah menerima beban statis. Manakala nilai tekanan airpori tersebut dibandingkan dengan tegangan total tanah yang  | Spektrum Sipil, ISSN 1858-4896 Vol. 3, No. 2: 121-132, September 2016. |

| No | Penulis | Judul | Hasil penelitian   | Publikasi |
|----|---------|-------|--|-----------|
|    |         |       | terjadi, maka dihasilkan nilai perbandingan sebesar 85.9 %, sehingga dari nilai perbandingan tersebut lapisan tanah pada lokasi penelitian berpeluang untuk terjadinya likuifaksi. |           |