

**ANALISIS MODULUS GESER TANAH DAN RASIO REDAMAN  
BERDASARKAN SPT PADA PROYEK RSIA STELLA MARIS**

**SKRIPSI**

**OLEH :**

**ARDYANSA GIAWA  
208110029**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

i

Document Accepted 16/12/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)16/12/24

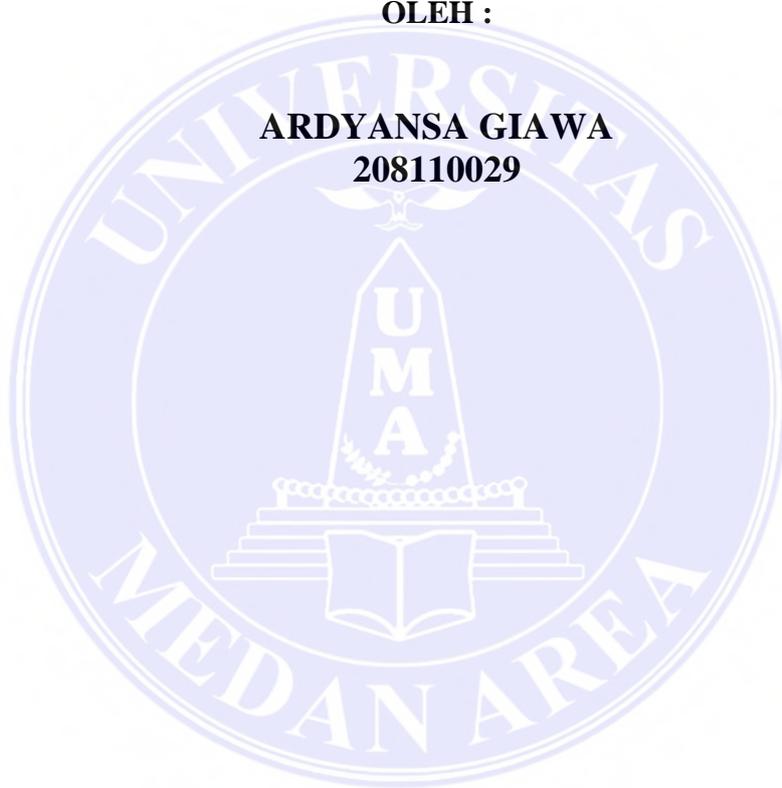
**ANALISIS MODULUS GESER TANAH DAN RASIO  
REDAMAN BERDASARKAN SPT PADA PROYEK RSIA  
STELLA MARIS**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelara Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

**OLEH :**

**ARDYANSA GIAWA  
208110029**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

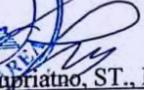
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

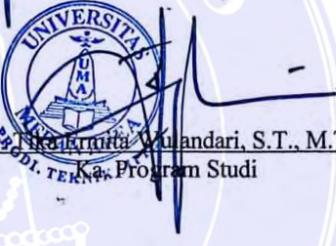
### HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Modulus Geser Tanah Dan Rasio Rasio Redaman  
Berdasarkan SPT Pada Proyek RSIA Stella Maris  
Nama : Ardyansa Giawa  
NPM : 208110029  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:  
Komisi Pembimbing

  
Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T  
Pembimbing

  
Dr. Endang Supriatno, ST., MT  
Dekan

  
Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T  
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 28 Agustus 2024

### HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 28 Agustus 2024



Ardyansa Giawa  
208110029

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

**SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ardyansa Giawa  
NPM : 208110029  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non Exclusive Royalty Free-Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul Analisis Modulus Geser Tanah dan Rasio Redaman Berdasarkan SPT Pada Proyek Pembangunan RSIA Stella Maris. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 28 Agustus 2024  
Yang menyatakan



(Ardyansa Giawa)

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Lubuk Raya Pada tanggal 10 Agustus 2000 dari Ayah Waejiduhu Giawa dan Ibu Nurtiani Boang Manalu Penulis merupakan putra/i ke 5 dari 6 bersudara. Tahun 2018 Penulis lulus dari SMA Negeri 1 Pegagan Hilir Tigabaru dan pada tahun 2020 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2023 Penulis melaksanakan Penelitian Pada Proyek Pembangunan Rsia Stella Maris.



## KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah geoteknik dengan Judul Analisis Modulus Geser Tanah Dan Rasio Redaman Pada Proyek Pembangunan RSIA Stella Maris. Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada bapak Leonardo Sihotang, Michael Panjaitan, mawadda Safina, Sultan Mubarag Saragih, Dwiman Persatuan Lase dan seluruh teman - teman sipil angkatan 20 yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Ardyansa Giawa)



## ABSTRAK

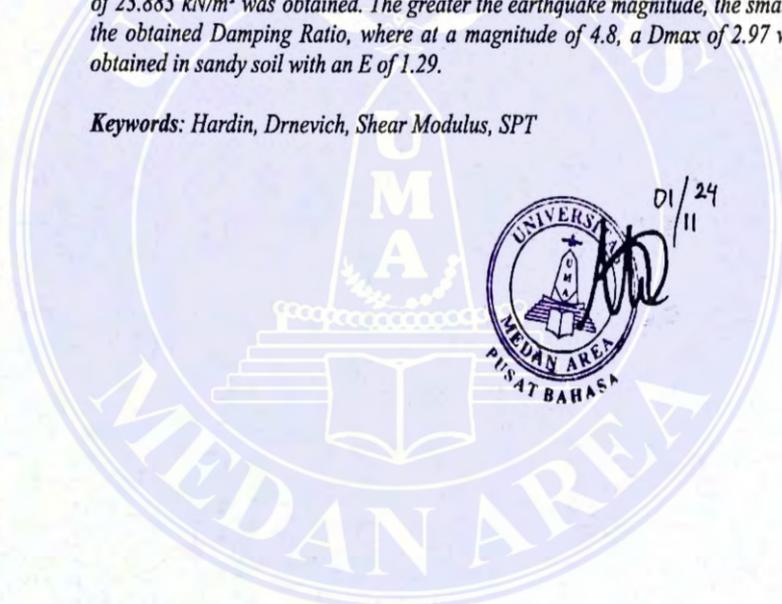
Analisis Modulus Geser Tanah Dan Rasio Redaman Dapat Dipahami Sebagai Bagian Integral Dari Proses Perencanaan Dan Konstruksi Proyek RSIA Stella Maris, Memastikan Bahwa Struktur Dibangun Dengan Mempertimbangkan Kondisi Tanah Yang Tepat Dan Respon Terhadap Beban Dinamis Seperti Gempa Bumi. Sehingga Didapatkan Rumusan Masalah Dalam Penelitian Ini Bagaimana Sifat/Karakteristik Tanah Secara Fisik Dari Lokasi Pondasi Bangunan Yang Akan Didirikan? Bagaimana Pengaruh Nilai SPT Terhadap Modulus Geser Tanah Di Lokasi Proyek Bangunan?. Tujuan Dari Penelitian Ini Adalah Untuk Mengetahui Pengaruh Nilai Modulus Geser Tanah Menggunakan Data SPT Rasio Redaman. Metode Yang Digunakan Dalam Penelitian Ini Adalah Hardin Dan Drnevich Adalah Sebuah Pendekatan Yang Digunakan Untuk Menghitung Modulus Geser Tanah Berdasarkan Hasil Uji Standard Penetration Test (SPT). Sehingga Dengan Menggunakan Metode Hardin Dan Drnevich Disimpulkan Semakin Tinggi Nilai Tegangan Tanah Vertikal Efektif Maka Semakin Besar Dan Semakin Tinggi Tegangan Tanah *Octahedral* Maka Modulus Geser Tanah Semakin Besar Pada Kedalaman 14.00-14.45 Didapat Tegangan Vertikal Sebesar 23,883 Kn/M<sup>2</sup>. Semakin Besar Magnitudo Gempa Maka Akan Semakin Kecil Rasio Redaman Yang Diperoleh Dimana Pada Magnitude 4,8 Di Dapat Dmax 2,97 Pada Jenis Tanah Pasir Dengan E 1,29.

**Katakunci:** Hardin, Drnevich, modulus geser dan SPT

### ABSTRACT

*The analysis of Soil Shear Modulus and Damping Ratio can be understood as an integral part of the planning and construction process of the RSIA Stella Maris Project, ensuring that the structure is built considering the appropriate soil conditions and response to dynamic loads such as earthquakes. Therefore, the research problem in this research was how the physical properties/characteristics of the soil from the foundation site of the building to be constructed were. How did the SPT value effect the Soil Shear Modulus at the project site? The purpose of this research was to determine the effect of the Soil Shear Modulus value using SPT data and the Damping Ratio. The method used in this research was the Hardin and Drnevich method, which is an approach used to calculate the Soil Shear Modulus based on the Standard Penetration Test (SPT) results. Using the Hardin and Drnevich method, it was concluded that the higher the Effective Vertical Soil Stress, the greater and higher the Octahedral Soil Stress, and the greater the Soil Shear Modulus at a depth of 14.00-14.45, where a Vertical Stress of 23.883 kN/m<sup>2</sup> was obtained. The greater the earthquake magnitude, the smaller the obtained Damping Ratio, where at a magnitude of 4.8, a Dmax of 2.97 was obtained in sandy soil with an E of 1.29.*

**Keywords:** *Hardin, Drnevich, Shear Modulus, SPT*



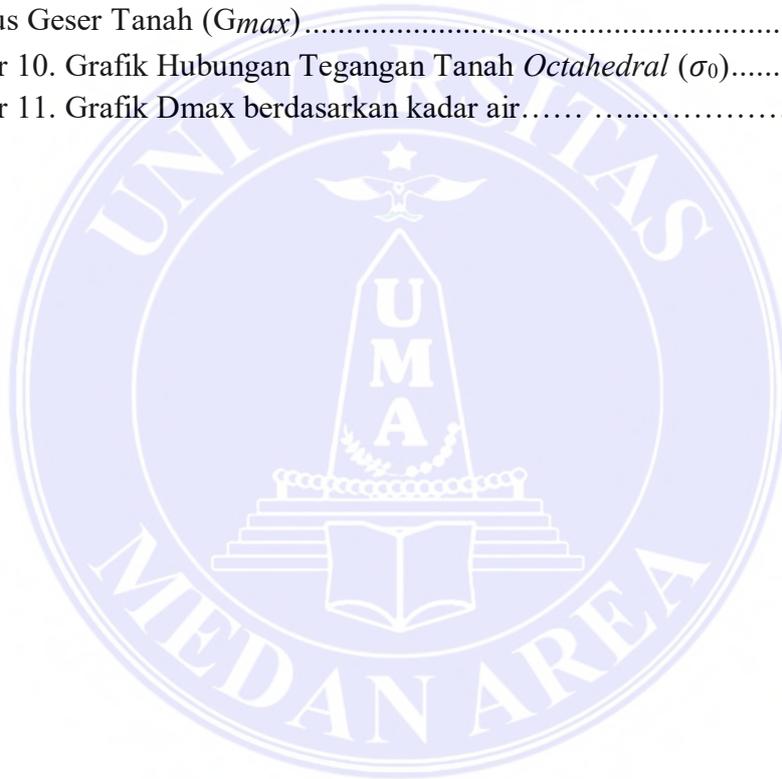
## DAFTAR ISI

COVER .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERNYATAAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
RIWAYAT HIDUP .....	vi
KATA PENGHANTAR.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
<b><u>BAB I</u></b> PENDAHULUAN .....	16
Latar Belakang .....	16
1.1. Rumusan Masalah.....	18
1.2. Maksud Dan Tujuan Penelitian .....	18
1.3. Batasan Masalah .....	19
1.5. Manfaat Penelitian .....	19
<b><u>BAB II</u></b> TINJAUAN PUSTAKA .....	20
2.1 Peneliti Terdahulu.....	20
2.2 Pengertian Tanah .....	23
2.3 Klasifikasi Tanah.....	24
2.3.1 USDA Texture Triangle .....	26
2.3.2 USCS ( <i>Unified Soil Classification System</i> ) .....	30
2.4 Gempa Bumi .....	35
2.5 Jenis Jenis Gempa Bumi .....	36
2.6 Modulus Geser Tanah.....	41
2.7 Hitungan Modulus Geser Maksimum.....	44
2.7.1 Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Modulus Geser Tanah .....	44

2.8	Rasio Redaman.....	47
2.9	Standart Penetrasi Test Dan Cone Penetrasi Test.....	48
2.9.1	Cone Penetration Test (CPT).....	48
BAB III METODE PENELITIAN .....		56
3.1	Lokasi Penelitian .....	56
3.2	Kondisi Tanah Eksisting .....	57
3.3	Metode Penelitian .....	57
3.4	Metode Analitis .....	58
3.5	Alur Penelitian.....	59
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....		60
4.1	Perhitungan Tegangan Tanah.....	60
4.2	Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal .....	61
4.2.1	Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif.....	61
4.3.	Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah (PI).....	64
4.4	Perhitugan Koefisien Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam (K0).....	65
4.4.1	Perhitungan Koefisien Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam. 65	
4.5.	Perhitungan Tegangan Tanah Octahedral .....	66
4.6	Perhitungan Suatu Konstanta .....	67
4.7.	Perhitugan Modulus Geser Maksimum Tanah ( <i>G<sub>max</sub></i> ) BH-1.....	69
4.8.	Perhitugan Rasio Redaman .....	70
4.9.	Pembahasan.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		77
5.1.	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran .....	77
DAFTAR PUSTAKA .....		78
LAMPIRAN .....		80

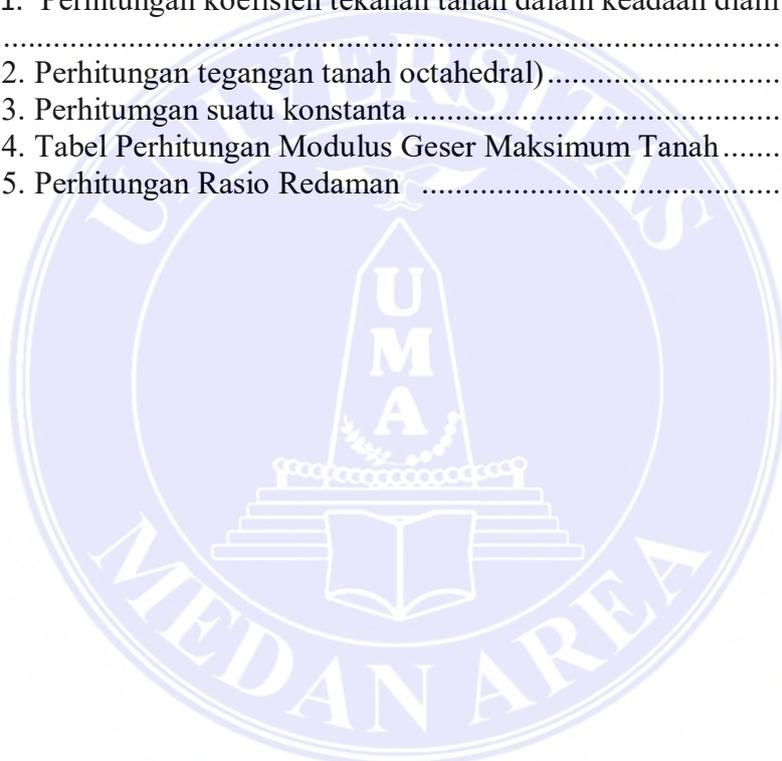
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. The Soil Texture Triangle .....	27
Gambar 2. Tekstur Tanah <i>Clay, Loam, Sand, dan Silt</i> .....	27
Gambar 3. <i>Soil Texture Triangle</i> .....	28
Gambar 4. Lokasi Proyek (google earth,2024) .....	56
Gambar 5. Gambar Denah Lokasi .....	56
Gambar 6. Kerangka Berpikir .....	59
Gambar 7. Grafik Tegangan Tanah <i>Octahedral</i> Setiap Kedalaman.....	59
Gambar 8. Grafik modulus geser tanah ( <i>G<sub>max</sub></i> ) setiap kedalaman .....	73
Gambar 9. Grafik Hubungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif ( $\sigma_v$ ) dengan Modulus Geser Tanah ( <i>G<sub>max</sub></i> ).....	73
Gambar 10. Grafik Hubungan Tegangan Tanah <i>Octahedral</i> ( $\sigma_0$ ).....	74
Gambar 11. Grafik <i>D<sub>max</sub></i> berdasarkan kadar air.....	75



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Simbol Klasifikasi USCS .....	30
Tabel 2. Tanah Berbutir Kasar ( <i>Coarse Grained Soils</i> ) .....	30
Tabel 3. Tanah Berbutir Halus ( <i>Fine Grained Soils</i> ) .....	31
Tabel 4. Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT .....	34
Tabel 5. Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG .....	39
Tabel 6. Untuk keseluruhan nilai interpolasi dapat dilihat.....	34
Tabel 7. Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif .....	39
Tabel 8. Magnitudo Gempa Dan Pengaruh .....	40
Tabel 9. Untuk Keseluruhan Nilai Interpolasi .....	61
Tabel 10. Hasil Perhitungan Tegangan Tanah .....	65
Tabel 11. Perhitungan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (K <sub>0</sub> ) .....	66
Tabel 12. Perhitungan tegangan tanah octahedral).....	68
Tabel 13. Perhitungan suatu konstanta .....	63
Tabel 14. Tabel Perhitungan Modulus Geser Maksimum Tanah.....	70
Tabel 15. Perhitungan Rasio Redaman .....	71



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran1. Hasil Pengujian Laboratorium .....	80
Lampiran 2. BH 1 .....	81



## DAFTAR NOTASI

$s$	= regangan geser
$\sigma_v$	= tegangan vertikal efektif ( $\sigma_v$ ),
PI	= indeks plastis tanah
OCR	= <i>Overconsolidated ration</i>
$e$	= angka pori
$\phi$	= sudut geser dalam tanah
$K_0$	= tekanan tanah dalam keadaan diam
$\mu$	= Tekanan air pori tanah ( $\text{kN/m}^2$ )
$\gamma_w$	= Berat volume air = 9.81 ( $\text{kN/m}^2$ )
$z$	= Kedalaman tanah yang ditinjau (m)
$\sigma_v$	= Tegangan vertikal total tanah
$\sigma'_v$	= Tegangan vertikal efektif tanah
$\gamma$	= Berat isi lapisan tanah
$z$	= Kedalaman tanah yang ditinjau
$\mu$	= Tekanan air pori tanah
$\gamma_w$	= Berat volume air
$g$	= Percepatan gravitasi bumi

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Indonesia adalah sebuah negara kepulauan yang dilalui oleh jalur gempa dan merupakan daerah gempa dengan frekwensi kejadiannya relative tinggi. Pada tahun 2004 terjadi gempa yang cukup besar di Nangroe Aceh Darusalam (26 Desember 2004) yang disertai dengan gelombang Tsunami cukup dahsyat yang menelan ratusan ribu jiwa manusia, memporak porandakan bangunan dan tata kota/tata wilayah. Selang kurang dari dua tahun kemudian, terjadi gempa bumi tektonik dengan kekuatan 5,9 scala Richter yang terjadi di Yogyakarta pada bulan Mei 2006. Gempa tersebut menelan korban ribuan jiwa dan menimbulkan kerusakan bangunan dan jalan yang cukup parah serta menghentikan sendi-sendi perekonomian rakyat. Disusul gempa-gempa yang terjadi hingga saat ini masih dirasakan yang tersebar di wilayah Indonesia dengan kekuatan yang berbeda. Bila terjadi gempa bumi, pertama-tama yang merasakan getaran gelombang gempa adalah tanah yang berada di sekitar pusat gempa, kemudian getarannya disebarkan ke segala penjuru sampai ke lokasi pencatat gempa di permukaan tanah.

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sangat berpotensi terjadi di Indonesia, selain bencana alam yang lain seperti: banjir, tanah longsor, gas beracun dan lain sebagainya. Gempa bumi sering membuat kerusakan baik kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang ada di atasnya. Kerusakan-kerusakan tersebut sering disebut sebagai kegagalan geoteknik. Kegagalan geoteknik merupakan suatu peringatan dan pelajaran bagi semua pihak khususnya praktisi, pemilik proyek, kontraktor dan departemen terkait. Sungguh merupakan

suatu ironi, bahwa kegagalan geoteknik sering terjadi, padahal teknologi dan ilmu geoteknik telah berkembang dengan baik. Chan, 1997 (dalam Muni Budhu 2000) mengindikasikan bahwa banyak kegagalan terjadi karena kurangnya pengetahuan dan teknologi, penyelidikan geoteknik, konstruksi yang salah dan kurangnya informasi dari desain bagi para pelaksana. Pada saat kegagalan geoteknik terjadi, adalah amat penting dilakukan suatu studi yang mendalam mengenai sebab-sebab kegagalan. Bagi profesi geoteknik, pengetahuan ini penting untuk mencegah terjadinya masalah ini berulang. Banyak orang berpandangan bahwa banyak kegagalan adalah merupakan pengulangan kejadian dari kejadian-kejadian yang pernah ada dengan pelaku yang berbeda, biasanya generasi baru dari para praktisi geoteknik dan para klien.

Dari kacamata ilmu geoteknik, kegagalan adalah merupakan eksperimen skala penuh hingga kondisi ultimit. Dari segi lain, suatu kegagalan geoteknik adalah hal yang menyakitkan dan pengalaman mahal untuk semua pihak yang mengalaminya. Oleh sebab itu harga yang amat mahal telah dibayar dari kegagalan tersebut, maka penting bagi kita untuk belajar dari kegagalan itu. Tantangan dari profesi geoteknik adalah untuk mengurangi peristiwa pengulangan kegagalan ini seminimal mungkin. Penyelidikan tanah merupakan langkah awal untuk mengetahui perilaku tanah jika terdapat beban statis atau beban dinamis yang bekerja pada tanah tersebut. Salah satu parameter tanah yang sangat penting harus diketahui adalah modulus geser tanah. Gempa bumi memicu gaya dinamik khususnya gaya geser dinamik yang mengurangi kuat geser (*shear strength*) dan kekakuan tanah (*soil stiffness*). Tekanan air pori dalam tanah jenuh air dapat meningkat sampai suatu nilai yang sama dengan tegangan rata-rata total dan

menyebabkan tanah tersebut mempunyai perilaku seperti cairan kental, yang disebut dengan likuifaksi dinamis (*dynamic liquifaction*) (Muni Budhu, 2000).

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sering membuat kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang berdiri di atasnya. Bagi para geoteknisien kejadian gempa merupakan suatu pelajaran dan sekaligus suatu tantangan. Untuk antisipasi kejadian dan akibat gempa yang akan terjadi diharapkan para geoteknisien harus mampu mengetahui perilaku tanah sebagai media rambatan getaran. Bagaimana respon tanah terhadap gaya gempa sangat tergantung pada parameter tanah yaitu modulus Geser tanah. Dengan demikian maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui berapa besar/nilai dari modulus geser tanah. Dari pernyataan diatas maka penulis tertarik mengambil Judul Analisis Modulus Geser Tanah Dan Rasio Redaman Dengan Data SPT.

### **1.1. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah dijabarkan diatas didapatkan rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat/karakteristik tanah secara fisik dari lokasi pondasi bangunan yang akan didirikan?
2. Bagaimana pengaruh nilai SPT terhadap modulus geser tanah di lokasi proyek bangunan.

### **1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dari penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai modulus geser tanah (G) melalui pengujian konsolidasi dengan menggunakan rumus hardin dan drnevich. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh nilai modulus geser tanah menggunakan data SPT dan Rasio redaman

### **1.3. Batasan Masalah**

Agar tidak lari dari pembahasan maka penulis emberikan batasan masalah pada penelitian, yaitu :

1. Penetian hanya berfokus pada analisis modulus geser tanah dan rasio redaman
3. Penelitian ini menggunakan metode empiris dengan rumus Hardin & drnevich
2. Data yang diambil hanya berupa data SPT.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Bagi penulis, ini berfungsi penulisan tugas akhir. Sehingga menambah pemahaman tentang perilaku sifat fisik tanah dan mekanik tanah sebagai dasar perencanaan dan perancangan bangunan.
2. Pengembangan ilmu mekanik tanah pada bidang Teknik sipil.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTKA

#### 2.1 Peneliti Terdahulu

Peneliti terdahulu adalah kajian penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang dapat diambil dari berbagai sumber ilmiah seperti skripsi, tesis, disertasi atau jurnal penelitian. Berikut adalah penelitian terdahulu yang menjadi acuan peneliti dalam melakukan penelitian.

1. Edi Nugroho dan Siti Khomariyah (2005) dalam laporan pengujiannya dengan judul "Studi Eksperimental di Laboratorium Tentang Nilai Modulus Geser Berdasarkan Rumus Hardin dan Black serta Menard" menjelaskan bahwa: Penambahan kadar air sebesar 5% dari kadar air lapangan akan mengakibatkan bertambahnya nilai Modulus Geser Max dari 19,457 MPa menjadi 19,87 MPa (menurut rumus Hardin dan Black), dan pengurangan kadar air 5% dari kadar air lapangan akan mengakibatkan menurunnya nilai Modulus Geser Max dari 19,457 Mpa menjadi 19,236 MPa (menurut rumus Hardin dan Black), sedangkan penambahan berat volume 5% dari berat volume lapangan akan mengakibatkan menurunnya nilai Modulus geser Max dari 19,457 MPa menjadi 15,056 MPa (menurut rumus Hardin dan Black), dan pengurangan berat volume 5% dari berat volume lapangan akan mengakibatkan tetap menurunnya nilai Modulus Geser Max dari 19,457 MPa menjadi 18,433 MPa (menurut rumus Hardin dan Black). Dengan memakai rumus Menard diperoleh bahwa penurunan kadar air 5% dari kadar air lapangan akan mengakibatkan bertambahnya nilai Modulus Geser Max dari 10,17 MPa menjadi 16,13 MPa, dan pengurangan kadar

air 5% dari kadar air lapangan akan mengakibatkan tetap bertambahnya nilai Modulus Geser Max dari 10,17 MPa menjadi 16,72 MPa, sedangkan untuk penambahan berat volume 5% dari berat volume lapangan akan mengakibatkan bertambahnya nilai Modulus Geser Max dari 10,17 MPa menjadi 27,03 MPa, dan pengurangan berat volume 5% dari berat volume lapangan akan mengakibatkan tetap bertambahnya nilai Modulus Geser Max dari 10,17 MPa menjadi 11,83 MPa. Pada tanah pasir diperoleh data bahwa nilai Modulus Geser Max pada kondisi kadar air dan berat volume lapangan adalah sebagai berikut 1. Rumus Hardin dan Black : 16,736 MPa.

2. Paskalinus Dakhi (2024) dalam penelitian ini Analisis Modulus Geser Tanah Berdasarkan SPT Pada Proyek Pembangunan Reklamasi Belawan Phase metode empiris hardin dan drnevich dengan menjelaskan bahwa : Berdasarkan perhitungan dan pembahasan diatas, diperoleh kesimpulan : Pada BH.01 lapisan tanah terakhir kedalaman 60,5 m nilai modulus geser/Gmax = 163.745,1052 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan pada BH.02 lapisan tanah terakhir kedalaman 60,5 m nilai modulus geser/Gmax = 89.528,176 kN/m<sup>2</sup>. Semakin tinggi tegangan tanah vertikal efektif maka modulus geser tanah semakin besar dan semakin tinggi tegangan tanah octahedral maka modulus geser tanah semakin besar. Dalam analisis modulus geser tanah diperlukan data pengujian laboratorium yang lengkap di setiap kedalaman tanah sehingga tidak memerlukan korelasi N-SPT agar mendapat hasil yang akurat.

3. Linawati dkk (2019), dengan judul Analisis Modulus Geser Maksimum Tanah Lempung Ekspansif Dengan Perkuatan Serat Ijuk Berdasarkan Metode Empiris. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa : Berdasarkan pada uji laboratorium, nilai modulus geser tanah ( $G_{maks}$ ) didapat dengan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Hardin dan Black (1969), dan dari kurva hubungan antara tegangan regangan pada uji geser langsung. Hasil secara empiris menunjukkan bahwa tanah lempung ekspansif Desa Tanak Awu mempunyai ( $G_{maks}$ ) berturut-turut adalah = 78,90 kPa; 109,77 kPa; 116,16 kPa; 123,86 kPa; 129,94 kPa; 139,30 kPa, dengan prosentase serat berturut-turut (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%). Sedangkan dari uji geser langsung tanah lempung ekspansif Desa Tanak Awu mempunyai ( $G_{maks}$ ) berturut-turut adalah = 78,30 kPa; 97,90 kPa; 101,20 kPa; 109,60 kPa; 115,70 kPa; 138,60 kPa, dengan prosentase serat berturut-turut (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%). Jika modulus geser maksimum ( $G_{maks}$ ) dihubungkan dengan percepatan gempa ( $a$ ), dan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), maka nilai modulus geser secara empiris maupun yang didapat dari uji geser, akan mampu meredam kecepatan gelombang geser yang terjadi. Hal ini dibuktikan dengan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) yang diperoleh secara empiris lebih besar dari kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dari IISSE, dimana  $V_s$  secara empiris berturut-turut 7,711 m/s (0%); 9,097 m/s (2%); 9,358 m/s (4%); 9,663 m/s (6%); 9,894 m/s (8%); 10,246 m/s (10%). Sedangkan  $V_s$  dari IISSE 2 – 5 m/s. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu Nilai modulus geser tanah ( $G_{maks}$ ) menggunakan rumus

Hardin dan Black (1969), adalah  $(G_{maks}) = 0,789 \text{ kg/cm}^2$  atau  $78,93 \text{ kPa}$  untuk tanah tanpa campuran serat (0%). Penambahan serat ijuk dapat meningkatkan nilai OCR (*over consolidation ratio*), dan angka pori tanah semakin kecil, sehingga nilai modulus geser maksimum tanah semakin besar. Jika modulus geser maksimum ( $G_{maks}$ ) dihubungkan dengan percepatan gempa ( $a$ ), dan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), maka nilai modulus geser secara empiris maupun yang didapat dari uji geser, akan mampu meredam kecepatan gelombang geser yang terjadi. Hal ini dibuktikan dengan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) yang diperoleh secara empiris lebih besar dari kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dari IISEE, dimana  $V_s$  secara empiris berturut-turut  $7,711 \text{ m/s}$  (0%);  $9,097 \text{ m/s}$  (2%);  $9,358 \text{ m/s}$  (4%);  $9,663 \text{ m/s}$  (6%);  $9,894 \text{ m/s}$  (8%);  $10,246 \text{ m/s}$  (10%). Sedangkan  $V_s$  dari IISEE  $2 - 5 \text{ m/s}$ .

## 2.2 Pengertian Tanah

Penyelidikan tanah merupakan pekerjaan pendahuluan yang sangat penting untuk perencanaan sebuah proyek teknik sipil, sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk merencanakan desain yang aman dan ekonomis serta tidak terjadi kesulitan pada saat pelaksanaan konstruksi.

Tujuan penyelidikan tanah adalah :

1. menganalisa kuat/daya dukung tanah,
2. menentukan tipe pondasi,
3. menentukan elevasi muka tanah,
4. menganalisa penurunan pondasi,
5. menganalisa struktur bawah dari bangunan teknik sipil

Contohnya dalam penelitian ini, penelitian tanah ini dilakukan untuk mendapatkan data tanah, yang nantinya data-data tanah tersebut kita masukkan ke dalam sebuah formula untuk mendapatkan nilai Modulus Geser tanah (G) tersebut. Yang pada akhirnya secara langsung maupun tidak langsung kita bisa mengetahui perilaku tanah tersebut apabila terjadi beban dinamik atau beban statik yang bekerja pada tanah tersebut. Tahapan pekerjaan penyehdikan tanah adalah :

1. pengeboran atau penggalian lobang cobaan (*trial-pit*),
2. pengambilan contoh tanah (*sampling*),
3. pengujian contoh tanahnya yang dapat dilakukan dilaboratorium atau dilapangan. (Hary Christady Hardiyatmo)

### **2.3 klasifikasi tanah.**

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995). Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah serta mengelompokkannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya

dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk

menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989). Klasifikasi tanah pada dasarnya dibuat untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat – sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, system klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Sistem klasifikasi bukan merupakan system identifikasi untuk menentukan sifat – sifat mekanis dan geoteknis tanah.

Klasifikasi tanah diperlukan antara lain bagi hal – hal sebagai berikut :

1. Perkiraan hasil eksplorasi tanah (persiapan log-bor tanah dan peta tanah, dan lain – lain).
2. Perkiraan standar kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing.
3. Perkiraan pemilihan bahan (penentuan tanah yang harus disingkirkan, pemilihan tanah dasar, bahan tanah timbunan, dan lain – lain).
4. Perkiraan persentasi muat dan susut.
5. Pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi (pemilihan cara penggalian dan rancangan penggalian).
6. Perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi.
7. Rencana pekerjaan/pembuatan lereng dan tembok penahan tanah dan lain – lain. (pemilihan jenis konstruksi dan perhitungan tekanan tanah.)

Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah adalah *Unified Soil Clasifcation System* (USCS). Sistem ini didasarkan pada sifat – sifat indek tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indek plastisitasnya. Disamping itu, terdapat system lainnya yang juga dapat digunakan dalam identifikasi tanah seperti yang dibuat oleh *American Association*

*of State Highway and Transportation Officials Classification (AASHTO), British Soil Classification System (BSCS) dan United State Departement of Agriculture (USDA)*

### **2.3.1 USDA Texture Triangle**

USDA (*U.S. Department of Agriculture*) merupakan sebuah badan atau departemen yang bertanggung jawab atas hal-hal yang melibatkan program pertanian, pangan, kehutanan, keamanan pangan, pengelolaan sumber daya alam, program nutrisi dan pertumbuhan ekonomi dengan tujuan untuk menjamin keselamatan makanan, melindungi sumber daya lingkungan kehidupan serta mengakhiri kelaparan di Amerika Serikat.

USDA mengklasifikasikan jenis tanah menggunakan triangle graphic atau grafik segitiga tekstur tanah dimana grafik segitiga tersebut menyebutkan berbagai kombinasi tanah liat, pasir, dan lumpur. Grafik segitiga tekstur tanah pada Gambar 2. merupakan representasi visual dari kombinasi jenis-jenis tanah.

Seperti yang tertera pada Gambar 1 dibawah ini, tanah partikel diberi nama sesuai dengan diameternya. Diameter dari partikel-partikel ini secara drastis mengubah sifat dari tanah tersebut. Untuk pasir (sand) sendiri, terbuat dari partikel-partikel terbesar dengan ada banyak ruang diantaranya. Hal ini menandakan bahwa jenis tanah pasir tersebut memiliki aerasi yang baik dan dapat mengalirkan air dengan cepat.



Gambar 1. The Soil Texture Triangle (Butts N., Soil Investigations, 1994)

Untuk partikel tanah liat (*clay*) jauh lebih kecil dibandingkan partikel pasir, mereka dapat menyatu dengan sangat rapat. Sedangkan untuk jenis tanah lumpur (*silt*) yang memiliki ukuran diantara pasir dan tanah liat hanya dapat mempertahankan air dengan cukup baik dan tidak terlalu terlihat seperti tanah liat. Selain itu, jenis tanah lumpur tidak memiliki banyak udara dan ruang di antara partikel seperti halnya jenis tanah pasir (*sand*).

Perbedaan tekstur pada jenis tanah *sand*, *clay*, dan *silt* juga dapat pada gambar berikut



Gambar 2. Tekstur Tanah *Clay*, *Loam*, *Sand*, dan *Silt* (Gill M., *Soil Texture Triangle*, 2022)

Tanah berpasir (*sand*) memiliki presentase tanah dengan 18% lempung dan lebih dari 68% partikel pasir. Tanah berpasir merupakan jenis tanah yang paling ringan dari semua tanah, rentan terhadap angin dan mengalirkan air dengan cepat serta dibedakan oleh tekstur berpasir yang disebabkan oleh potongan-potongan batu yang hampir tidak terlihat ukurannya. Tanah berpasir lebih cepat panas pada musim semi dibandingkan dengan tanah liat namun juga memiliki kecenderungan cepat mengering di musim panas dan memiliki nutrisi yang rendah saat terkena hujan.

Pasir halus (*fine sand*) memiliki ukuran partikel 0.075 mm hingga 0.0425 mm, pasir sedang (*medium sand*) memiliki ukuran 0.425 mm hingga 2 mm, dan pasir kasar (*coarse sand*) berukuran 2 mm hingga 4.75 mm. Tanah berpasir mudah diidentifikasi yaitu dengan menggenggam tanah kering kemudian teteskan sedikit air ke tanah tersebut secara perlahan. Tanah tersebut kemudian diperas hingga terasa seperti dempul yang lembab, jika terasa berpasir dan potongannya jatuh diantara jari jari tangan, maka tanah tersebut merupakan tanah berpasir.

Tanah lanau (*silt*) merupakan zat sedimen lepas yang terdiri dari partikel batuan kecil yang terbentuk secara alami. Tanah lanau merupakan tanah yang secara umum menahan kelembapan dan memiliki nilai kesuburan yang tinggi serta biasanya digunakan dalam bidang pertanian seperti untuk keperluan budidaya tanaman. Karena kehalusannya, tanah lanau memiliki sedikit ataupun tidak ada plastisitas. Saat basah, tanah lanau akan dengan mudah membentuk bola atau bentuk lainnya.

Tanah liat (*clay*) terdiri dari partikel yang sangat kecil atau kurang dari 0.002 mm dan mengandung 50% tanah liat. Saat basah, tanah liat menjadi lebih

berat dan lengket, sedangkan saat mengering, tanah liat akan mengeras dan menjadi seperti beton. Karena ukurannya mikroskopis, partikelnya memiliki kecenderungan untuk menggumpal dan hanya sedikit udara yang dapat melewati celah-celah partikelnya.

Tanah lempung (*loam*) terdiri dari 40% pasir (*sand*), 40% lumpur (*silt*) dan 20% tanah liat (*clay*). Jenis tanah ini merupakan jenis tanah yang biasanya digunakan untuk berkebun atau menanam sayuran dikarenakan mengandung banyak nutrisi. Keempat jenis-jenis tanah diatas tidak hanya dikelompokkan menjadi 4 bagian, namun keempat jenis tersebut dapat bercampur satu sama lain sehingga teksturnya berbeda dan tidak mudah dibedakan seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Soil Texture Triangle (Gill M., Soil Texture Triangle, 2022)

Pada Gambar 3 diatas, terlihat perbedaan warna, tekstur hingga ukuran jika keempat jenis tanah tersebut tercampur. Untuk jenis tanah lempung (*loam*) sendiri dapat berwarna abu-abu, coklat, merah hingga kuning.

### 2.3.2. USCS (*Unified Soil Classification System*)

Merupakan sistem klasifikasi tanah yang dianjurkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan kemudian direvisi oleh *The Corps of Engineers* dan *The US Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Pada klasifikasi ini, tanah dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu tanah berbutir kasar merupakan kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*) Pada Tabel 1, inisial huruf menunjukkan jenis tanahnya

Tabel 1. Simbol Klasifikasi USCS (*California Department of Transportation, USCS Classification System, 2016*)

Huruf Pertama (Jenis)		Huruf Kedua (Sifat)	
Huruf	Arti	Huruf	Arti
G	Kerikil	W	Gradiasi Baik
S	Pasir	P	Gradiasi Jerek
M	Lanau	M	Mengandung Lanau
C	Lempung	C	Mengandung Lempung
O	Tanah Organik	L	Plastisitas Rendah
Pt	Gambut	H	Plastisitas Tinggi

Sistem klasifikasi USCS ini paling banyak digunakan untuk tujuan rekayasa tanah dikarenakan tanah tersebut dikategorikan berdasarkan pembentukan karakter dan ukuran partikelnya. Klasifikasi USCS dibagi menjadi 15 grup yang berbeda, namun mayoritas divisi utamanya mencakup tiga kategori tanah, yaitu :

Tabel 2. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse Grained Soils*) (*California Department of Transportation, USCS Classification System, 2016*)

Simbol	Deskripsi
	<i>Clean Grevels (Less than 5% fines)</i>

<p><i>GRAVELS</i> (Kerikil)</p> <p>Lebih dari 50% gradasi kasar lebih besar dari ukuran saringan No. 4</p>	GW	<i>Well graded gravels, gravel-sand, mixtures, little or no fines</i>
	GP	<i>Poorly graded gravels, gravelsand mixture, little or no fines</i>
	GM	<i>Gravels with fines (More than 12% fines)</i>
	GC	<i>Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures</i>
<p><i>SANDS</i> (Pasir)</p> <p>Lebih dari 50% gradasi kasar lebih kecil dari ukuran saringan No. 4</p>		<i>Clean Sands (Less than 5% fines)</i>
	SW	<i>Well graded snads, gravelly sands, little or no fines</i>
	SP	<i>Poorly graded sands, gravelly sands, little of no fines</i>
	SM	<i>Sands with fines (More than 12% fines)</i>
	SC	<i>Silty sands, sandy-silt mixtures</i> <i>Clayey sands, sand-clay mixtures</i>

Pada Tabel 2 disebutkan bahwa parameter identifikasi jenis tanah kerikil dan pasir adalah saringan No.4. Saringan No.4 merupakan saringan yang digunakan pada pengujian *sieve analysis* dengan ukuran diameter 0.075 mm. Sedangkan pada Tabel 3 digunakan saringan No. 200 sebagai parameter penentu jenis tanah lanau dan lempung.

Tabel 3. Tanah Berbutir Halus (*Fine Grained Soils*) (*California Department of Transportation, (USCS) Classification System 2016*)

	Simbol	Deskripsi
<p><i>SILTS &amp; CLAYS</i> (Lanau &amp; Lempung)</p> <p>Batas cair kurang dari 5%</p>	ML	<i>Inorganic silts and very fine sand, rock flour, clayey fine sands or clayey silts with a visible plasticity</i>
	CL	<i>Low to medium plasticity inorganic clays, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays</i>
	OL	<i>Low plasticity organic silts and organic silty clays</i>

<i>SILTS &amp; CLAYS</i> (Lanau & Lempung)	MH	<i>Silts that are inorganic, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, and elastic silts</i>
Batas cair yaitu 50% atau lebih	CH	<i>High plasticity inorganic clays, fat clays</i>
	OH	<i>Organic clays with medium to high plasticity, as well as organic silts</i>

Untuk jenis tanah terakhir yaitu *highly organic soils* tidak dibagi lagi melainkan diklasifikasikan dalam satu kelompok. Tanah organik biasanya mudah ditekan, teksturnya berlumpur dan lembab. Umumnya, komponen dalam *highly organic soils* ini terdiri dari sisa daun-daun yang telah berguguran, ranting maupun bahan-bahan lainnya.

Berdasarkan jenis-jenis tanah di atas, jenis tanah yang memiliki potensi likuifaksi adalah jenis tanah dengan ukuran 0.075 mm yaitu tanah lanau (*silt*) dengan sifat kohesif atau lengket dan tanah pasir (*sand*) dengan sifat non-kohesif atau tidak lengket. Kedua tanah tersebut meskipun berbeda jenis namun memiliki persamaan yaitu merupakan jenis tanah yang tidak padat.

Pada umumnya, tanah terdiri dari 3 komponen utama, yaitu air, udara dan bahan padat. Air sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah karena jika rongga pada tanah tersebut terisi oleh air sepenuhnya, maka tanah akan dikatakan dalam kondisi jenuh. Sedangkan tanah dengan kondisi jenuh sangat berbahaya bagi bangunan di atasnya karena hal tersebut merupakan salah satu parameter.

Salah satu penyebab tanah menjadi jenuh adalah intensitas curah hujan yang tinggi dan terjadinya gertaran secara terus menerus yang cepat. Komponen air akan masuk kedalam bagian tanah yang tidak padat sehingga menyebabkan

tanah menjadi mengembang. Selain itu, proses pemadatan tanah yang tidak dilakukan dengan benar saat pekerjaan konstruksi berlangsung juga dapat menyebabkan tanah menjadi rentan dimasuki oleh air.

## 2.4 Tegangan Tanah

Tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh adanya beban dari tanah yang terdapat di atasnya tanpa memperhitungkan tegangan air pori yang diakibatkan oleh air ( $\mu$ ) disebut tegangan vertikal total. Tegangan vertikal total dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_v = \sum (\gamma \cdot z) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$$\sigma_v = \text{Tegangan vertikal total tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{Berat isi lapisan tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$z = \text{Kedalaman tanah yang ditinjau (m)}$$

Jika tanah dibebani (dan karena air) disebut *incompressible*, maka beban pertama yang diterima air dan timbul adalah tekanan air pori. Tekanan air pori dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\mu = \gamma_w \cdot z \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$$\mu = \text{Tekanan air pori tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$\gamma_w = \text{Berat volume air} = 9.81 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$z$  = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Air yang bertekanan kemudian akan mengalir keluar sehingga tekanan air pori akan berkurang. Setelah tekanan air pori hilang, maka seluruh beban akan dipikul oleh bidang kontak antar butiran tanah yang disebut tegangan vertikal efektif. Tegangan vertikal efektif tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- $\sigma'_v$  = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_v$  = Tegangan vertikal total tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $\mu$  = Tegangan air pori (kN/m<sup>2</sup>)

Perhitungan manual di atas dapat digunakan jika terdapat data hasil pengujian *sieve analysis*, namun jika tidak terdapat data hasil pengujian *sieve analysis*, maka perhitungan nilai tegangan tanah dapat menggunakan nilai korelasi pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk Jenis Tanah Pasir (*Sand*) dan Lempung (*Clays*)

Nilai N-SPT	<i>Soil Parameters Description</i>	Nilai Koreksi		
		<i>Relative Density</i> Dr %	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (deg)
0 - 3	Very Loose	0	11.0 - 15.7	25 - 30
4 - 9	Loose	15	14.1 - 18.1	27 - 32
10 - 29	Medium	35	17.3 - 20.4	30 - 35
30 - 49	Dense	65	18.8 - 22.0	35 - 40
> 50	Very Dense	85	20.4 - 23.6	38 - 43

<i>Clay</i>		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$S_u$ (Kpa)
0 – 1	Very Soft		0
2 – 3	Soft	15.7 – 18.8	12
4 – 7	Medium		25
8 – 15	Stiff	17.3 – 20.4	50
16 – 31	Very Stiff		100
32	Hard	18.8 – 22.0	200

Pada Tabel diatas, untuk mendapatkan nilai berat isi tanah ( $\gamma$ ) dapat digunakan rumus interpolasi sesuai dengan jenis tanah pasir (*sand*) maupun lempung (*clay*) dan nilai N-SPT yang didapatkan dari hasil pengujian *soil investigation* SPT sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{y}{(x+z)} + \gamma_1 \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

- $\gamma$  = Berat isi tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $y$  = Selisih nilai N-SPT (Batas atas – Batas bawah)
- $x$  = Selisih nilai N-SPT (Nilai N-SPT pengujian – batas bawah)
- $z$  = Selisih ( $\gamma_{atas} - \gamma_{bawah}$ )
- $\gamma_1$  = Nilai  $\gamma$

## 2.4 Gempa Bumi

Tanah lunak mengandung mineral-mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi. Di Indonesia tanah lunak terdapat pada area lebih dari 20 juta hektar artinya lebih dari 10% dari daratan Indonesia. Tanah lunak umumnya memiliki sifat kompresibilitas yang tinggi, permehabilitas yang rendah, penurunan konsolidasi yang besar, sudut geser dalamtanah dan daya dukung yang rendah. Lapisan tanah disebut lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*slit*) yang mempunyai harga

pengujian penetrasi standar (*Standard Penetration Test*) yang lebih kecil dari empat atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Lapisan tanah pasir dalam keadaan lepas juga dapat digolongkan tanah lunak bila mempunyai harga  $N$  kurang dari 10. (Darwus, 2008)

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*)

- a. Tanah kerikil dan pasir di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.
- b. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.

2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*)

- a. Tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.
- b. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.
- c. Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS.

## 2.5 Jenis Jenis Gempa Bumi

1. gempa tektonik

Gempa tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh pergeseran dua atau lebih lempeng tektonik secara tiba – tiba. Pergeseran pada lempeng tektonik tersebut dinamakan sesar dengan jenis yang berbeda – beda sesuai dengan arah gerakannya. Bila gempa tektonik terjadi biasanya akan disusulan gempa - gempa lainnya tergantung dari kedalaman gempunya. Dampak yang ditimbulkan dari

gempa bumi tektonik ini salah satu nya ialah tsunami. Selain itu gempa tektonik juga dapat menyebabkan likuifaksi dan menyebabkan bangunan yang berada diatasnya runtuh seketika.

## 2. Gempa Vulkanik

Gempa Vulkanik merupakan jenis gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas magma atau pelepasan energi yang terjadi pada gunung berapi. Gempa bumi ini dapat terjadi sebelum, selama maupun setelah erupsi dari gunung berapi. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat gempa bumi vulkanik yaitu adanya kabut asap dan semburan abu vulkanik yang dapat menghalangi sinar matahari sehingga menimbulkan masalah pada pernapasan.

## 3. Gempa Runtuhan

Gempa runtuhan adalah jenis gempa bumi yang disebabkan oleh longsonya tanah atau runtuhnya gua – gua yang ada disekitar area terdampak. Dampak dari gempa bumi ini biasanya tidak sebesar efek gempa bumi tektonik dan hanya mempengaruhi area – area kecil di sekitarnya.

### 2.5.1 Besar Kekuatan Gempa

Terdapat 2 cara yang biasanya digunakan dalam mengklasifikasikan besar kekuatan gempa, yaitu dengan menggunakan metode MMI (*Modified MMI Intensity*) dan dengan parameter magnitudo (skala richter).

- a. Skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) Merupakan satuan yang diciptakan oleh seorang ahli vulkanologis yang berasal dari Italia yang bernama Giuseppe Mercalli pada tahun 1902. Dalam metode pembagian skala MMI ini dibagi menjadi 12 jenis yang diambil berdasarkan informasi dari orang-orang yang

selamat dari gempa bumi dan kemudian hasilnya dibandingkan untuk mengetahui tingkat kerusakan yang diperoleh akibat dari adanya gempa bumi tersebut. Karena hasilnya dihitung berdasarkan tempat, maka hasilnya tidak sama di setiap tempat. Pembagian pengaruh resiko gempa terhadap skala MMI dapat dilihat pada Tabel berikut ini :

Tabel 5. Skala Intensitas Gempa Bumi BMKG (Kementrian ESDM, Skala MMI: *Modified Mercally Intensity*, 2021)

Skala SIG BMKG	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA
I	Tidak Dirasakan	Tidak terasa atau hanya dirasakan oleh segelintir orang, namun terekam oleh alat.	I - II	< 2.9
II	Dirasakan	Dapat dirasakan oleh orang banyak, namun tidak menimbulkan kerusakan. Benda- benda ringan yang tergantung bergoyang dan kaca jendela bergetar.	III - V	2.9 - 88
III	Kerusakan Ringan	Bagian non-struktural bangunan mengalami kerusakan ringan, termasuk retak rambut di dinding.	VI	89 - 167
IV	Kerusakan Sedang	Banyak retakan muncul di dinding bangunan sederhana, sebagian runtuh dan kaca pecah. Beberapa plester dinding juga terkelupas serta sebagian besar genteng akan meluncur kebawah. Stuktur bangunan akan mengalami kerusakan ringan hingga sedang.	VII - VIII	168 - 564
V	Kerusakan Berat	Sebagian besar dinding bangunan permanen runtuh dan struktur bangunan rusak parah.	IX - XII	> 564

Penggunaan skala MMI jarang digunakan dibandingkan dengan skala richter dikarenakan skala MMI hanya digunakan jika tidak terdapat 20 peralatan seismometer yang dapat mengukur kekuatan gempa di area kejadian.

- b Skala Rithcer Skala Richter atau SR merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam mengklasifikasi skala gempa. Satuan ini diciptakan oleh *vulkanologis* bernama DR. Charles F. Richter yang bekerja sama dengan Beno Gutenberg yang berasal dari *California Institute of Technology* pada tahun 1935. Satuan ini dinyatakan dengan nama magnitude dengan simbol Mw. Pembagian besar pengaruh gempa berdasarkan besaran magnitude skala richter dapat dilihat pada tabel

Tabel 6. *Magnitude* Gempa dan Pengaruh Gempa (Wardhiny, B.K , Kajian Analisis Resiko Bencana Sesar, 2014)

Deskripsi	Skala Richter	Pengaruh Gempa
Mikro	< 2.0	Tidak terasa
Sangat Minor	2.0 - 2.9	Umumnya terasa, namun tidak terekam
Minor	3.0 - 3.9	Kadang terasa, namun jarang menimbulkan kerusakan yang berarti
Ringan	4.0 - 4.9	Ditandai dengan barang-barang di dalam ruangan yang bergetar
Sedang	5.0 - 5.9	Menimbulkan kerusakan pada bangunan konstruksi ringan dengan ruang yang sempit. Pada struktur bangunan terdapat sedikit kerusakan
Kuat	6.0 - 6.9	Dapat merusak bangunan pada area sekitar 150 km
Mayor	7.0 - 7.9	Dapat menimbulkan kerusakan besar di area yang luas

Besar	8.0 - 8.9	Menimbulkan banyak kerusakan pada suatu area dengan jarak ratusan kilometer
Sangat Besar	> 9.0	Kebanyakan bangunan tidak dapat bertahan dan rusak parah.

Skala Richter sendiri dibuat untuk memudahkan penentuan megnitudo gempa tanpa melakukan perhitungan matematis yang rumit. Skala richter biasanya digunakan untuk gempa yang berkekuatan kecil atau lokasinya kurang dari 600 km, sehingga penggunaan skala *richter* ini tidak terlalu akurat untuk perhitungan gempa bumi dengan skala yang besar. Magnitude gempa dapat menunjukkan kondisi yang sebenarnya dari besaran gempa yang terjadi. Namun, magnitude gempa tidak dapat menunjukkan derajat kerusakan yang disebabkan oleh gempa dikarenakan jika lokasi terjadinya gempa tersebut di tengah samudera, tentunya akan berdampak berbeda jika gempa tersebut terjadi di tengah kota dengan magnitude yang sama. Bangunan konstruksi yang berada dekat maupun jauh dari epicentre gempa, keduanya sama-sama dapat mempengaruhi struktur bangunan tergantung dari intensitas besar kecilnya getaran.

### 2.5.2 Riwayat Gempa Bumi Di Sumatera Utara

Skala Richter sendiri dibuat untuk memudahkan penentuan megnitudo gempa tanpa melakukan perhitungan matematis yang rumit. Skala richter biasanya digunakan untuk gempa yang berkekuatan kecil atau lokasinya kurang dari 600 km, sehingga penggunaan skala *richter* ini tidak terlalu akurat untuk perhitungan gempa bumi dengan skala yang besar. *Magnitude* gempa dapat menunjukkan kondisi yang sebenarnya dari besaran gempa yang terjadi. Namun, magnitude gempa tidak dapat

menunjukkan derajat kerusakan yang disebabkan oleh gempa dikarenakan jika lokasi terjadinya gempa tersebut di tengah samudera, tentunya akan berdampak berbeda jika gempa tersebut terjadi di tengah kota dengan magnitudo yang sama. Bangunan konstruksi yang berada dekat maupun jauh dari *epicentre* gempa, keduanya sama-sama dapat mempengaruhi struktur bangunan tergantung dari intensitas besar kecilnya getaran.

Tabel 7. Data Gempa Bumi di Sumatera Utara dalam 50 Tahun Terakhir  
(*EarthScope*, 2018)

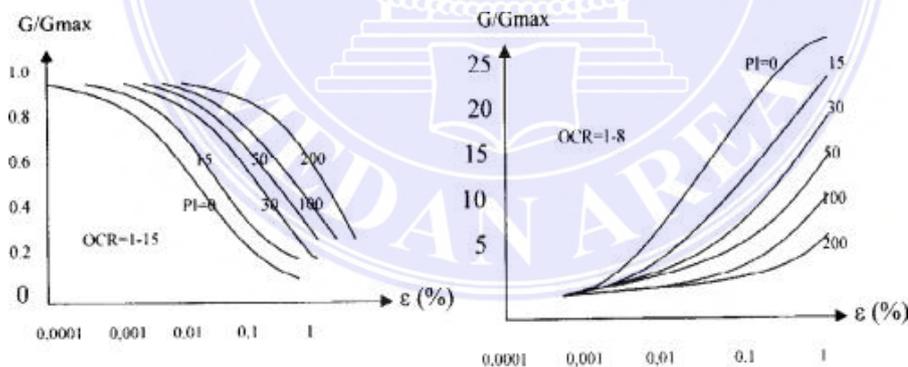
Tanggal	Pusat Gempa Bumi		Magnitudo	Lokasi Kejadian Likuifaksi
	Bujur	Lintang		
04 Dec 1967	97,3° BT	5,3° LU	6,2	Lhokseumawe, Aceh
27 Apr 1987	98,8° BT	2,1° LU	6,6	Tarutung, Sumatera Utara
15 Nov 1990	97,457° BT	3,908° LU	6,8	Blangkajeren, Aceh
15 Feb 1994	104,302° BT	4,967° LS	7,0	Liwa, Lamoung
10 Jul 1995	101,3° BT	2,1° LS	7,0	Kec. Sitinjau Laut
06 Apr 2000	102,407° BT	4,734° LS	7,9	Kota Bengkulu
28 Mar 2005	97,01° BT	2,07° LU	8,7	Gunung Sitoli, Sumatera Utara
03 Jul 2007	100,498° BT	0,536° LS	6,3	Solok, Sumatera Barat
09 Dec 2007	101,382° BT	4,517° LS	8,4	Bengkulu, Seblat
13 Sep 2007	100,964° BT	2,525° LS	7,9	Pesisir Selatan, Sumatera Barat
30 Sep 2009	99,961° BT	0,789° LS	7,9	Padang Pariaman, Sumatera Barat
12 Jul 2016	96,24° BT	5,25° LU	6,5	Pidie Jaya, Aceh

## 2.6 Modulus Geser Tanah

Modulus geser tanah adalah suatu ukuran kekakuan atau kekakuan tanah terhadap perubahan geser, modulus geser biasanya dinyatakan dengan simbol “G” atau *share* modulus dalam istilah teknis. Modulus geser tanah merupakan perbandingan tegangan geser antara regangan geser tanah, Braja M. Das (1993). Modulus geser maksimum (*Gmax*) merupakan parameter dinamik yang penting dalam berbagai persoalan dinamika tanah. Parameter ini terutama diperlukan untuk menghitung frekuensi resonansi dan amplitudo getaran pada pondasi, sehingga erat

kaitannya dengan gempa bumi. Apabila terjadi gempa bumi, maka faktor tanah sebagai penghantar getaran mempunyai peran yang sangat penting. Interaksi tanah struktur akibat beban dinamik, menentukan koefisien kekuan tanah dibawah pondasi dan analisis perambatan gelombang. Penelitian tentang modulus geser tanah sudah banyak yang dilakukan oleh para peneliti diantaranya adalah :

Vuceuc dan Dobry (1991), penelitiannya tentang efek Indeks Plastisitas (PI) terhadap perilaku dinamik atau perilaku statik tanah lempung. Besarnya nilai modulus geser untuk setiap regangan geser akan dinormalisasikan terhadap modulus geser maksimum atau dinotasikan  $G/G_{max}$ . Plot hubungan antara rasio redaman lawan regangan geser untuk setiap nilai indeks plastisitas (PI) seperti yang ditunjukkan Gambar 1 grafik berikut :



Gambar 1. Hubungan antara  $G/G_{max}$  lawan regangan geser (Josep E. Bowles, Analisis dan desain Pondasi, 1996)

Pada gambar 1. menunjukkan bahwa tanah yang memiliki indeks plastisitas tinggi (tanah lempung jenuh air) memiliki nilai normalisasi modulus geser yang masih relatif tinggi pada suatu regangan geser tertentu dibandingkan dengan tanah

yang memiliki Indeks Plastisitas yang relatif rendah. Dengan demikian bahwa tanah lempung yang memiliki PI yang sangat tinggi cenderung masih berperilaku elastik ( $G/G_{max}$  masih cukup besar) terhadap regangan geser yang relative besar. Sebaliknya pasir yang tergolong memiliki indeks plastisitas rendah maka kekuatannya akan cepat menurun ( $G/G_{max}$  menurun drastis) terhadap regangan geser yang semakin besar.

Pada gambar 7.b bahwa pengaruh Indeks Plastisitas terhadap rasio redaman pada suatu regangan geser tertentu, disimpulkan bahwa dari hasil penelitiannya rasio redaman akan meningkat pada regangan geser yang semakin besar. Jika dilihat juga dari grafik tersebut bahwa untuk nilai regangan geser tertentu, rasio redaman besar pada tanah dengan PI yang semakin kecil.

Anderson dan kawan-kawan (1978) juga melakukan penelitian untuk memperoleh nilai modulus geser tanah. Dari hasil penelitiannya menjelaskan bahwa dalam pengukuran-pengukuran lapangan dari kecepatan gelombang geser dapat menentukan modulus geser.

Cunny dan Fry (1973) serta Hardin dan Music (1965) juga melakukan penelitian untuk mendapatkan nilai Modulus Geser, dari pengujian kolom resonansi. Ini melibatkan peralatan - peralatan laboratorium yang khusus, terdiri dari sebuah sel triaksial yang khusus dibuat mampu menyediakan (menghasilkan) getaran contoh tanah dengan amplitudo yang sangat kecil.

## 2.7 Hitungan Modulus Geser Maksimum

Modulus geser adalah salah satu karakteristik dinamis yang umumnya dinyatakan dengan notasi ( $G$ ). Nilai modulus geser ini merupakan perbandingan antara tegangan geser ( $r$ ) dan regangan geser ( $s$ ). Banyak parameter yang mempengaruhi modulus geser tanah seperti tegangan vertikal efektif ( $\sigma_v$ ), bentuk butiran, efek kejenuhan, indeks plastis tanah (PI), *Overconsolidated ration* (OCR), angka pori ( $e$ ), sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ), dan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam ( $K_0$ ).

$$G_{max} = 331 OCR^{\frac{2,973-e^2}{(1+e)}} \cdot \sigma_v^{0.50}$$

Dimana :

- ( $r$ ) : tegangan geser
- ( $s$ ) : regangan geser
- ( $\sigma_v$ ) : tegangan vertikal efektif ( $\sigma_v$ ),
- (PI) : indeks plastis tanah
- (OCR) : *Overconsolidated ration*
- ( $e$ ) : angka pori
- ( $\phi$ ) : sudut geser dalam tanah
- ( $K_0$ ) : tekanan tanah dalam keadaan diam

### 2.7.1 Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Modulus Geser Tanah

#### 1. Nilai OCR (*Over Consolidation Ratio*)

Besarnya nilai OCR diperoleh dari pengujian konsolidasi. OCR adalah keadaan dimana kondisi tanah terkonsolidasi akibat pernah mengalami pembebanan tekanan efektif yang lebih besar dari pada tegangan yang sekarang. Semakin

besar nilai OCR suatu tanah mengakibatkan semakin besar pula nilai modulus geser tanah tersebut. OCR penting dalam merancang dan menganalisis struktur di atas tanah yang mengalami konsolidasi. Ini membantu dalam menentukan potensi penurunan tanah dan stabilitas struktur. Dalam praktiknya, OCR digunakan untuk mengidentifikasi kondisi tanah yang mungkin mengalami penurunan berlebihan jika terkena beban tambahan. OCR dapat diukur menggunakan uji laboratorium seperti uji konsolidasi satu dimensi (*oedometer test*) di mana sampel tanah diuji untuk menentukan perilakunya di bawah berbagai tekanan.

1. Interpretasi OCR:

- a.  $OCR = 1$ : Tanah tidak mengalami konsolidasi lebih dari yang sekarang. Ini biasanya menunjukkan bahwa tanah tidak mengalami tekanan lebih tinggi di masa lalu dibandingkan dengan saat ini.
- b.  $OCR > 1$ : Tanah telah mengalami tekanan lebih tinggi di masa lalu. Misalnya,  $OCR = 2$  menunjukkan bahwa tekanan maksimum yang pernah dialami tanah adalah dua kali dari tekanan efektif saat ini. Ini sering terjadi pada tanah yang telah mengalami perubahan kondisi, seperti perubahan beban akibat penggalian atau pengeringan.
- c.  $OCR < 1$ : Ini jarang terjadi karena umumnya tanah tidak mengalami konsolidasi kurang dari tekanan saat ini.

2.  $K$  = koefisien nilainya tergantung besar nilai Indeks Plastisitas. Semakin besar nilai Indeks Plastisitas suatu tanah maka akan mengakibatkan semakin besar pula nilai modulus geser tanah tersebut.

### 3. Indeks Plastisitas Tanah (PI)

Indeks Plastisitas adalah selisih antara batas plastis (Plastic Limit, PL) dan batas cair (Liquid Limit, LL) tanah. Ini mengukur rentang kelembaban di mana tanah tetap plastis. Indeks Plastisitas (PI), atau Plasticity Index, adalah parameter penting dalam geoteknik yang digunakan untuk mengevaluasi sifat plastis tanah. Ini memberikan informasi tentang kemampuan tanah untuk berubah bentuk tanpa retak atau hancur ketika diberi beban, dan penting dalam menentukan perilaku tanah di bawah beban yang bervariasi. Merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Jika tanah memiliki PI tinggi, maka tanah tersebut banyak mengandung butiran lempung. Sedangkan jika PI nya rendah maka tanah tersebut. Berikut adalah beberapa poin utama mengenai teori Indeks Plastisitas Tanah (PI):

#### 1. Interpretasi PI

- a. PI Tinggi: Tanah dengan PI tinggi (biasanya lebih dari 20) menunjukkan bahwa tanah memiliki rentang plastis yang besar, sehingga lebih plastis dan dapat mengalami deformasi lebih besar sebelum retak. Ini sering terjadi pada tanah lempung.
- b. PI Rendah: Tanah dengan PI rendah (biasanya kurang dari 10) menunjukkan bahwa tanah memiliki rentang plastis yang kecil dan cenderung menjadi keras atau rapuh pada kelembaban rendah. Tanah dengan PI rendah biasanya adalah tanah berbutir kasar seperti pasir. PI Nol: Jika PI sama dengan nol, itu berarti tanah tidak memiliki plastisitas dan berubah secara langsung dari keadaan padat ke keadaan cair tanpa periode plastis. Desain dan Konstruksi: PI digunakan untuk menentukan

sifat tanah dalam desain dan konstruksi fondasi. Tanah dengan PI tinggi mungkin memerlukan perbaikan atau pemadatan sebelum pembangunan. Stabilitas Lereng: Tanah dengan PI tinggi dapat berpengaruh pada stabilitas lereng karena sifat plastisitasnya. Evaluasi Sifat Tanah: PI memberikan informasi tambahan tentang konsistensi tanah dan potensi masalah dalam penanganan tanah selama pembangunan.

## 2.8 Rasio Redaman

Damping ratio (rasio redaman) dan modulus elastisitas tanah merupakan salah satu indeks propertis tanah yang penting untuk memprediksi perilaku konstruksi bangunan yaitu berperan terhadap efektivitas isolasi dan disipasi beban getaran. Redaman dapat juga digambarkan sebagai kondisi/karakteristik yang menyebabkan amplitudo getaran secara gradual akan berkurang terhadap waktu sampai energinya terdisipasi. Pada konstruksi perkerasan kaku jalan raya, terdapat lapisan pasir dibawahnya yang salah satu fungsinya adalah sebagai redaman beban lalu lintas. Fungsi redaman ini berpengaruh terhadap unjuk kerja jalan tersebut. Semakin baik respons redaman lapisan ini terhadap beban yang bekerja, maka semakin kecil juga tingkat kerusakan yang mungkin terjadi pada struktur perkerasan di atasnya (Daga, 2010).

Berdasarkan *Principles of Soil Dynamics* (Das, 1993) untuk mencari nilai rasio redaman tanah pasir dan tanah lempung dapat digunakan rumus sebagai berikut :

1. Tanah Pasir

$$D_{max} = 28 - 1,5 \cdot (\log N)$$

2. Tanah Lempung

$$D_{max} = 31 - (3 + 0,003f) \cdot \sigma^{0,5} + 1,5 f^{0,5} - 1,5 \cdot (\text{Log } N)$$

Menurut As'at (2003) untuk menentukan nilai N dapat digunakan rumus empiris, yaitu :

$$N = 0,0387 \cdot e^{0,7876M}$$

dengan:

$D_{max}$  = Rasio redaman maksimum

$f$  = Frekuensi getar (Hz)

$\sigma_0$  = Tekanan efektif rata-rata (kg/cm<sup>2</sup>)

$N$  = Nilai siklik ekivalen saat  $0,65 \tau_{max}$

$M$  = Magnitude gempa (SR)

$e$  = Nilai eksponensial

## 2.9 Standart Penetrasi Test Dan Cone Penetrasi Test

### 2.9.1 Cone Penetration Test (CPT)

Cone penetration test (CPT) adalah salah satu metode pengujian yang digunakan dalam geoteknik untuk menentukan karakteristik dan sifat-sifat tanah. CPT adalah tes in-situ yang dilakukan dengan cara menancapkan alat berbentuk kerucut (*cone*) ke dalam tanah dengan memberikan tekanan tertentu dan mengukur respons tanah terhadap penetrasi tersebut. Tes ini dapat memberikan informasi mengenai kekuatan tanah, kepadatan, dan jenis tanah di bawah permukaan tanah. CPT dilakukan dengan menancapkan sebuah alat yang disebut CPT cone (kerucut pengujian) yang terpasang pada sebuah batang pendorong (*rods*) ke dalam tanah

dengan kecepatan konstan. Alat ini memiliki tiga sensor utama yang digunakan untuk mengukur:

1. Kuat tekan (*tip resistance*): Tegangan yang diperlukan untuk menekan kerucut ke dalam tanah.
2. Kuat geser (*shear resistance*) pada selubung (*friction sleeve*): Tegangan yang terjadi akibat gesekan antara permukaan selubung dan tanah.
3. Tekanan pori (*pore pressure*): Tekanan air yang ada di dalam pori tanah, diukur dengan sensor tekanan pori yang ada di belakang kerucut.

#### 1. Komponen Alat Cpt

Alat utama yang digunakan dalam CPT terdiri dari:

- a. Kerucut (*cone*): Biasanya berbentuk kerucut dengan sudut  $60^\circ$ , dan memiliki diameter sekitar 35 mm. Kerucut ini terbuat dari material yang tahan terhadap tekanan tinggi dan gesekan tanah.
- b. Selubung geser (*friction sleeve*): Bagian silindris yang terletak di bagian belakang kerucut, berfungsi untuk mengukur gesekan yang terjadi antara selubung dan tanah.
- c. Piezometer (*pore pressure sensor*): Sensor yang digunakan untuk mengukur tekanan pori air yang ada di tanah. Alat ini terletak di belakang kerucut, dan memberikan informasi tentang kondisi tanah yang jenuh air.

## 2. Interpretasi Data

Data yang diperoleh dari CPT digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah dan sifat-sifat mekaniknya. Beberapa parameter penting yang bisa ditentukan melalui hasil CPT antara lain:

- a. Kekuatan tanah: Berdasarkan nilai *tip resistance* ( $q_t$ ), yang menggambarkan seberapa keras tanah tersebut menahan penetrasi.
- b. Kepadatan tanah: Berdasarkan hubungan antara *tip resistance* dan *friction resistance*, yang memberikan indikasi mengenai kepadatan tanah.
- c. Jenis tanah: Berdasarkan profil distribusi *tip resistance*, *friction sleeve*, dan *pore pressure*, dapat disimpulkan jenis tanah yang ada (tanah lempung, pasir, kerikil, dll.).
- d. Koefisien konsolidasi tanah: Dapat diperoleh melalui analisis tekanan pori yang diukur pada setiap kedalaman.

Cone Penetration Test (CPT) merupakan metode yang sangat berguna dalam penyelidikan geoteknik karena dapat memberikan informasi yang cepat, akurat, dan mendalam tentang sifat-sifat tanah. Dengan data yang diperoleh dari hasil pengujian ini, insinyur dapat merancang struktur dengan lebih tepat dan aman. Meskipun demikian, keterbatasan tertentu tetap ada, seperti ketidakmampuan untuk menganalisis komposisi kimia tanah atau tanah keras. Oleh karena itu, CPT sering

digabungkan dengan metode pengujian lainnya seperti uji bor atau pengujian laboratorium.

### 2.9.2 *standart penetration test*

*Standard Penetration Test* (SPT) adalah salah satu metode pengujian in-situ yang paling umum digunakan dalam geoteknik untuk menilai kekuatan dan sifat tanah. SPT dilakukan dengan cara memukul (menumbukkan) sebuah tabung sampel (*split spoon*) ke dalam tanah untuk mengukur ketahanan tanah terhadap penetrasi. Tes ini sangat penting dalam perencanaan dan desain fondasi, terutama untuk mengetahui kapasitas dukung tanah dan karakteristik tanah yang ada pada kedalaman tertentu. Prinsip dasar SPT adalah menumbukkan sebuah tabung berukuran standar (*split spoon*) ke dalam tanah dengan menggunakan hammer yang memiliki berat dan jarak jatuh tertentu. Ketahanan tanah terhadap penetrasi ini diukur berdasarkan jumlah pukulan (*blows*) yang diperlukan untuk menembus kedalaman tertentu.

- a. Tabung *Split Spoon*: Tabung ini biasanya terbuat dari baja dengan panjang 0,45 m dan diameter 50 mm, dengan ujungnya berbentuk kerucut untuk memudahkan penetrasi ke dalam tanah.
- b. *Hammer* : *Hammer* yang digunakan dalam SPT memiliki berat 63,5 kg dan dijatuhkan dari ketinggian 76 cm.
- c. Pukulan: Setiap penurunan hammer disebut sebagai satu pukulan. Setelah tabung split spoon terbenam sekitar 30 cm, jumlah pukulan dihitung untuk penetrasi 30 cm selanjutnya. Hasil yang dicatat adalah jumlah pukulan untuk penetrasi 30 cm terakhir (setelah mencapai 15 cm pertama).

## 1. Prosedur Pelaksanaan Standart Penetra (SPT)

Prosedur SPT dilakukan pada saat pengujian di lapangan sebagai berikut:

- a. **Persiapan Lokasi:** Uji dilakukan menggunakan rig bor untuk menurunkan tabung split spoon ke dalam tanah. Lokasi uji umumnya ditentukan berdasarkan rencana geoteknik dan kedalaman tanah yang ingin diuji.
- b. **Penurunan Tabung *Split Spoon*:** Hammer dijatuhkan secara vertikal ke atas tabung split spoon yang terletak di bawah tanah. Pukulan pertama diberikan untuk memulai penetrasi ke tanah.
- c. **Pengukuran Penetrasi:** Setelah tabung mencapai kedalaman 30 cm, jumlah pukulan untuk melanjutkan penetrasi dicatat. Hasil SPT biasanya dicatat dalam bentuk jumlah pukulan untuk setiap 30 cm penetrasi. Hasil yang dicatat adalah jumlah pukulan untuk penetrasi dari kedalaman 15 cm hingga 45 cm (penetrasi ke-2 30 cm).
- d. **Pengambilan Sampel:** Setelah pengujian selesai, tabung split spoon akan diangkat, dan sampel tanah yang ada di dalam tabung dapat diambil untuk analisis laboratorium lebih lanjut.

## 2. Penentuan Nilai N (SPT-N)

SPT mengukur jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus tanah, yang dikenal dengan nilai N. Nilai ini biasanya dihitung berdasarkan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi 30 cm terakhir pada kedalaman tertentu. SPT-N adalah jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus 30 cm terakhir dan dianggap sebagai parameter untuk menilai sifat fisik tanah.

- a. Nilai N biasanya dinyatakan dalam jumlah pukulan yang diperlukan untuk penetrasi 30 cm terakhir. Misalnya, jika untuk penetrasi 30 cm terakhir diperlukan 25 pukulan, maka nilai SPT-N untuk kedalaman tersebut adalah 25.
- b. Nilai N ini sering digunakan untuk menggambarkan konsistensi atau kekuatan tanah, serta untuk menghitung parameter lainnya, seperti daya dukung tanah atau estimasi koefisien konsolidasi.

### 3. Interpretasi Nilai N (SPT-N)

Nilai SPT-N yang diukur memberikan indikasi terhadap karakteristik tanah, khususnya kepadatan atau kekuatan tanah. Secara umum, interpretasi nilai N adalah sebagai berikut:

- a. Nilai N Rendah (0-10 pukulan): Menunjukkan bahwa tanah cenderung lunak atau lempung plastis. Biasanya ini mengindikasikan tanah yang tidak memiliki daya dukung tinggi, seperti tanah lempung lunak atau endapan organik.
- b. Nilai N Sedang (10-30 pukulan): Menunjukkan bahwa tanah memiliki kekuatan dan kepadatan sedang, seperti tanah pasir atau tanah berpasir yang lebih padat.
- c. Nilai N Tinggi (30-50 pukulan): Menunjukkan bahwa tanah tersebut cukup padat, biasanya terdapat pada tanah kerikil atau pasir bergradasi halus yang padat.

- d. Nilai N Sangat Tinggi (>50 pukulan): Menunjukkan tanah yang sangat keras, seperti tanah yang terdiri dari batuan lempung keras atau lapisan batuan.

Namun, interpretasi nilai SPT-N perlu dilakukan dengan hati-hati karena banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasil, termasuk kedalaman pengujian, jenis tanah, kelembaban tanah, dan keberadaan lapisan batuan.

#### 4. Keunggulan SPT

- a. Pengujian yang cepat: SPT dapat dilakukan dengan cepat dan efisien di lapangan, sehingga sangat berguna untuk mendapatkan data tanah secara real-time.
- b. Cocok untuk berbagai jenis tanah: SPT dapat digunakan untuk berbagai jenis tanah, baik itu tanah berpasir, lempung, maupun tanah berbatu dengan penyesuaian alat dan prosedur.
- c. Mudah dilakukan di lapangan: Peralatan yang digunakan untuk SPT relatif sederhana dan dapat dioperasikan di lokasi proyek tanpa memerlukan peralatan laboratorium yang rumit.
- d. Data yang mudah diinterpretasi: Nilai SPT-N yang dihasilkan relatif mudah untuk diinterpretasi oleh insinyur geoteknik dan dapat digunakan untuk merancang fondasi atau struktur lainnya

## 5. Keterbatasan SPT

- a. Dipengaruhi oleh kedalaman: Nilai SPT bisa terpengaruh oleh kedalaman pengujian, di mana pada kedalaman yang lebih dalam, tanah bisa lebih keras dan membutuhkan lebih banyak pukulan untuk penetrasi.
- b. Tidak cocok untuk tanah sangat keras atau berbatu: SPT mungkin tidak memberikan hasil yang akurat jika tanah yang diuji terlalu keras atau mengandung banyak batuan. Dalam kasus ini, metode pengujian lain seperti Cone Penetration Test (CPT) atau Down Hole Testing lebih efektif.
- c. Pengaruh terhadap hasil: Faktor-faktor seperti jenis alat yang digunakan, energi yang diterapkan, dan prosedur standar yang diterapkan dapat mempengaruhi hasil yang diperoleh, sehingga perlu dilakukan standarisasi pengujian di lapangan.
- d. Pengaruh air tanah: Kondisi air tanah yang tinggi atau rendah dapat mempengaruhi penetrasi alat, dan hasilnya mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kekuatan atau kepadatan tanah yang sebenarnya.

Standard Penetration Test (SPT) metode yang sangat berguna dalam penyelidikan geoteknik karena dapat memberikan data penting mengenai sifat tanah di lokasi proyek. Dengan melakukan SPT, insinyur dapat menentukan kekuatan tanah, kapasitas dukung, dan karakteristik lainnya yang berguna untuk merancang struktur yang aman dan efisien. Meskipun SPT memiliki beberapa keterbatasan, terutama terkait kedalaman dan jenis tanah.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

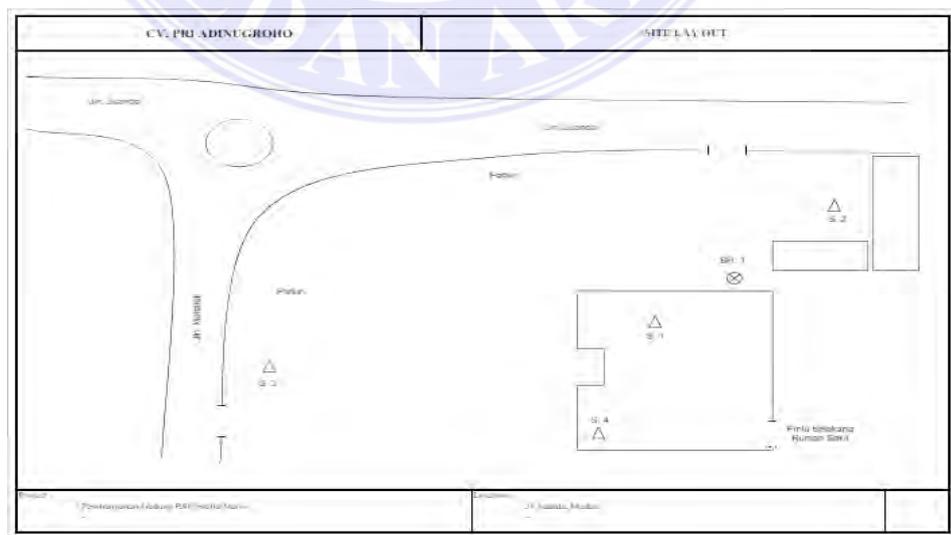
Lokasi penelitian berada pada Jl. Juanda, Medan – Prov. Sumatera Utara.

Lokasi proyek dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. Lokasi proyek (*Google Earth, 2024*)

Lokasi titik bore hole penelitian berada pada Jl. Juanda, Medan – Prov. Sumatera Utara. Lokasi proyek dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Gambar denah lokasi (*Data Proyek, 2024*)

### 3.2 Kondisi Tanah Eksisting

Pada penelitian ini kondisi tanah memiliki kedalaman tanah keras 28,45 m dengan didominasi jenis tanah Lempung dan Pasir. Data kondisi tanah eksisting dapat dilihat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 5. Nilai Standart Penetrasi Test (SPT) BH-1 (Data Lapangan, 2024)

No	Kedalaman	N-SPT	Jenis Tanah
1	2.00 - 2.45	2	Lempung Berlanau
2	4.00 - 4.45	2	Lempung Berpasir
3	6.00 - 6.45	4	Lempung Berpasir
4	8.00 - 8.45	22	Pasir Halus
5	10.00 - 10.45	55	Pasir Halus
6	12.00 - 12.45	42	Pasir Halus
7	14.00 - 14.45	35	Pasir Halus
8	16.00 - 16.45	17	Pasir Halus
9	18.00 - 18.45	42	Pasir Halus
10	20.00 - 20.45	51	Pasir Halus
11	22.00 - 22.45	55	Pasir Halus
12	24.00 - 24.45	58	Pasir Halus
13	26.00 - 26.45	64	Pasir Halus
14	28.00- 28.45	64	Pasir Halus

### 3.3 Metode Penelitian

Tahapan penelitian adalah tahap awal yang dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan penelitian agar memudahkan dalam penyusunan. Berikut ini merupakan tahap-tahap pengumpulan data yang dilakukan oleh penulis.

- a. Tahapan pertama adalah melakukan *review* dan *study* kepustakaan, mencari jurnal-jurnal penelitian terdahulu dan buku yang berkaitan dengan

penelitian analisis modulus geser tanah, pengaruh modulus geser terhadap struktur bangunan.

- b. Tahapan kedua adalah peninjauan langsung dilokasi proyek untuk melakukan pengambilan data yang diperlukan.
- c. Tahapan ketiga adalah megumpulkan data yang diperoleh dari proyek yaitu data yang dibutuhkan adalah data *Bore Log*.
- d. Tahapan keempat adalah melakukan analisis perhitungan dengan data yang diperoleh berdasarkan metode yang digunakan.
- e. Tahapan kelima adalah membuat kesimpulan dari hasil analisis pehitungan yang dilakukan.

### 3.4 Metode Analitis

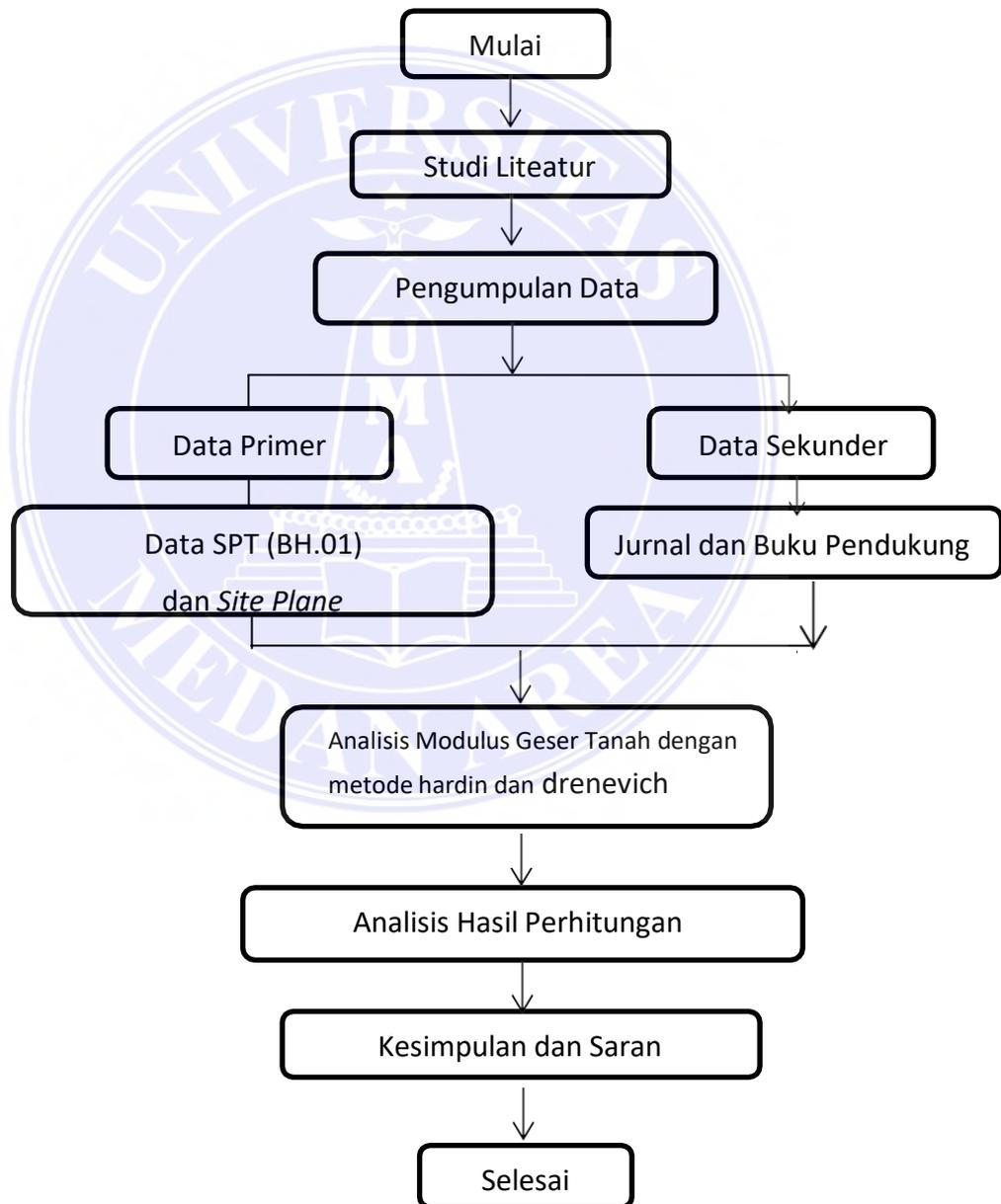
Untuk menganalisis modulus geser tanah ini penulis menentukan maksimum *share modulus* ( $G_{max}$ ) berdasarkan data *bore log* dengan metode yang digunakan adalah metode empiris Hardin dan drnevitch

Hal yang dilakukan untuk perhitungan adalah :

- a. Menghitung tegangan tanah ( $\gamma$ )
- b. Menghitung tegangan vertikal efektif ( $\sigma_v$ )
- c. Menghitung indeks plastis tanah (PI)
- d. Menghitung koefisien tekanan tanah dalam keadaan *rest* ( $K_0$ )
- e. Menjumlahkan tegangan efektif *octhadreal* ( $\sigma_0$ )
- f. Menyesuaikan nilai indeks plastisitas tanah terhadap tabel untuk mendapatkan nilai suatu konstanta (K)
- g. Maka dapat diperoleh *share modulus maximum* ( $G_{max}$ )

### 3.5 Alur Penelitian

Agar penelitian ini tersusun dan terstruktur dengan rapih maka peneliti membuat bagan alur agar memudahkan dalam pengerjaan skripsi ini mulai dari mengidentifikasi masalah sampai akhir penyelesaian, untuk gambar bagan alir disajikan dalam Gambar 8 berikut :



Gambar 6. Kerangka Berpikir

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan kesimpulan dan pembahasan diatas dapat di simpulkan bahwa :

1. Semakin tinggi nilai tegangan tanah vertikal efektif maka semakin besar dan semakin tinggi tegangan tanah *octahedral* yang menyebabkan modulus geser tanah semakin besar. Kemungkinan terjadinya kegagalan lereng atau longsor tanah dapat berkurang.
2. Semakin besar magnitudo gempa maka akan semakin kecil rasio redaman yang di peroleh. Semakin baik respons redaman terhadap beban yang bekerja, maka semakin kecil juga tingkat kerusakan yang mungkin terjadi pada struktur di atasnya.

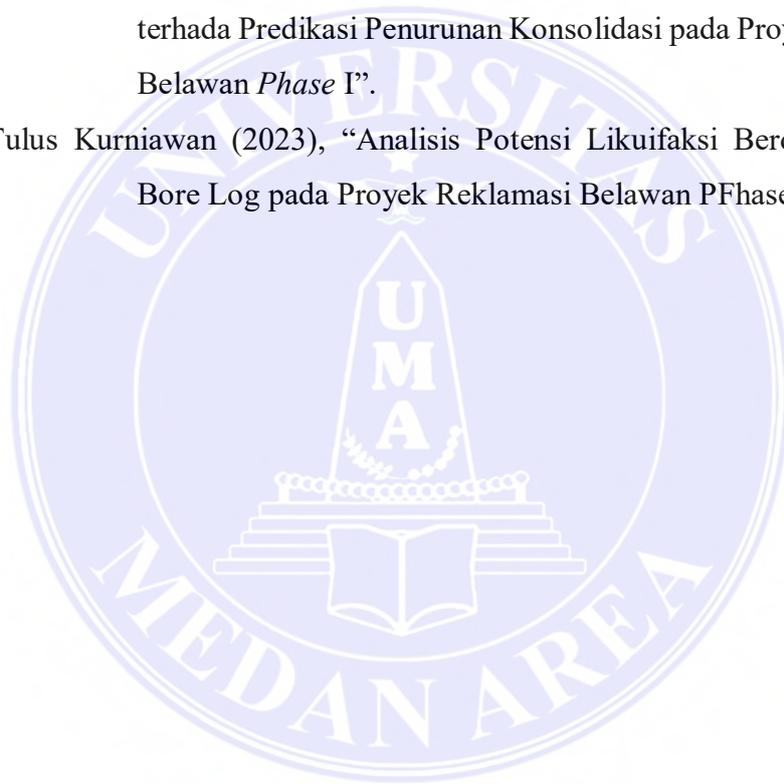
#### 5.2 Saran

Dalam analisis modulus geser tanah diperlukan data pengujian laboratorium yang lengkap di setiap kedalaman tanah sehingga tidak memerlukan korelasi N-SPT agar mendapat hasil yang akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Braja M. Das (1989) *“Principle of soil Dynamic”*. Pws-Kent Publishing Company United States Of America.
- Darwis H., & Sc. M. (2018). *“Dasar – Dasar Mekanika Tanah”* Yogyakarta: *Pena Indis*.
- Edy Purwanto (2008) *“Nilai Modulus Geser Tanah Berdasarkan Rumus Hardin & Drenevic (1972) dan Menard (1965)”*. Media Komunikasi Teknik Sipil 16 (3), 279 – 290.
- Hardin, B. O., W. L. Black. (1968), vibration Modulus Of Normally Consolidatd Clay, JSMFD, ASCE, Vol 94. SM 2, March, PP. 667-692. United
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2022). *“Teknik Pondasi 1”*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Lisnawati, Tri Sulistyowati, Ismail Hoesien (2019) *“Analisis Modulus Geser Tanah Lempung Ekspansif dengan Perkuatan Serat Ijuk Berdasarkan Metode Empiris”*.
- Lolo, A., Balamba, S., Sarajar, A. N., & Mandagi, A. T. (2013). Pengaruh Modulus Geser Tanah Terhadap Kestabilan Pondasi Mesin Jenis Block Studi Kasus : Mesin ID Fan PLTU 2 Amurang Sulut. *Jurnal Sipil Statistik*, 1(9).
- Melinda, Z., Murniwansyah, M., & Sungkar, M. (2020). Pengaruh Void Ration Terhadap Modulus Geser Dinamis dan Kecepatan Gelombang Geser
- Menard, L. (1965). *“Rules For Calculation Of Bearing Capacity and Foundation Sattlement Based Of Pressure Meter Test”*. Procceding 6th International Conference Of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Canada, Vol 2, 295-299.
- Nugroho; Siti Khomariah. (2005), *“Studi Ekspermental di Laboratorium Tentang Nilai Modulus Geser Berdasarkan Rumus Hardin dan Black sertaMenard”*. Tugas akhir mahasiwa, jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan UII.

- Oky Abduhrahman Saleh. P. (2005), “Nilai Modulus Geser Tanah dari hasil uji laboratorium berdasarkan rumus Hardin & Black, Menard, Hardin & Richard serta Hardin & Drenevic”.
- pada Bangunan Di Kawasan Gempa. *Journal of The Civil EnginerringStudent*, 2(1), 22-28.
- Rudianto Surbakti, (2021) “Analisis Penurunan Tanah dengan Plaxis 2D dan 3D pada Proyek Reklamasi Belawan”.
- Stated Of America.
- Tika Ermita Wulandari (2021) “Pengaruh Kehalusan *Mesh* Plaxis 2D dan 3D terhadap Predikasi Penurunan Konsolidasi pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*”.
- Tulus Kurniawan (2023), “Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Bore Log pada Proyek Reklamasi Belawan PPhase I”.



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Laboratorium

Bore Hole No.	BH. 1			
Sample Depth (m)	5.00-5.50	9.50-10.00	15.00-15.50	19.50-20.00
Condition of sample	UDS	UDS	UDS	UDS
Moisture Content W (%)	34.12	24.57	28.83	20.06
Natural Density $\gamma_w$ (gr/cc)	1.502	1.705	1.676	1.728
Dry Density $\gamma$ (gr/cc)	34.12	1.369	1.301	1.439
Spesific Gravity Gs	2.572	2.601	2.587	2.605
Void Ratio e	1.2966	0.9003	0.9886	0.8099
Porosity n	0.5646	0.4738	0.4971	0.4475
Degree of Saturation Sr (%)	67.68	70.98	75.45	64.52
<b>Atterberg Limit Test</b>				
Liquit Limit LL (%)	28.41	-	25.77	-
Plastic Limit PL (%)	19.06	NP	18.20	NP
Plastic Index PI (%)	9.36	NP	7.58	NP
<b>Sieve Analysis Test</b>				
No. 4 Passing Percent	100.00	98.73	100.00	100.00
No. 10 Passing Percent	99.94	94.83	99.91	100.00
No. 20 Passing Percent	97.53	91.65	97.82	98.86
No. 40 Passing Percent	93.68	82.93	94.20	95.41
No. 60 Passing Percent	86.95	63.51	84.42	77.34
No. 100 Passing Percent	74.21	34.52	59.17	42.62
No. 200 Passing Percent	62.75	5.89	38.72	6.23
<b>Unconfined Compression Test</b>				
qult (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.106	-	0.170	-
Strain (%)	3.50	NP	4.00	NP
<b>Direct Shear Test</b>				
Internal Friction $\phi$ (Degree)	9°	27°	22°	29°
Cohesion C (Kg / cm <sup>2</sup> )	0.110	0.020	0.100	0.018
<b>Consolidation Test</b>				
Insitu Void Ratio ( $e_o$ )	1.282	-	0.983	-
Coeffisien of Consolidasi /Cv Cm/sec)	3.42E-03	-	3.30E-03	-
Compression Index (Cc)	0.3945	-	0.2714	-
Permeability K (Cm/sec)	2.25E-07	-	1.68E-07	-

Lampiran 2. BH 1

