

**ANALISIS MODULUS GESER TANAH BERDASARKAN SPT
PADA PROYEK PEMBANGUNAN REKLAMASI BELAWAN
PHASE I**

SKRIPSI

OLEH :

**PASKALINUS DAKHI
198110122**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 4/6/24

Access From (repository.uma.ac.id)4/6/24

**ANALISIS MODULUS GESER TANAH BERDASARKAN SPT
PADA PROYEK PEMBANGUNAN REKLAMASI BELAWAN
PHASE I**

SKRIPSI

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



OLEH :

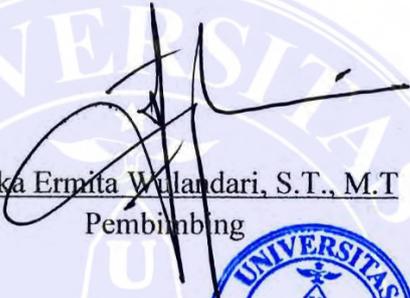
**PASKALINUS DAKHI
198110122**

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

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Modulus Geser Tanah Berdasar SPT Pada Proyek
Pembangunan Reklamasi Belawan *Phase I*
Nama : Paskalinus Dakhi
NPM : 198110122
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


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

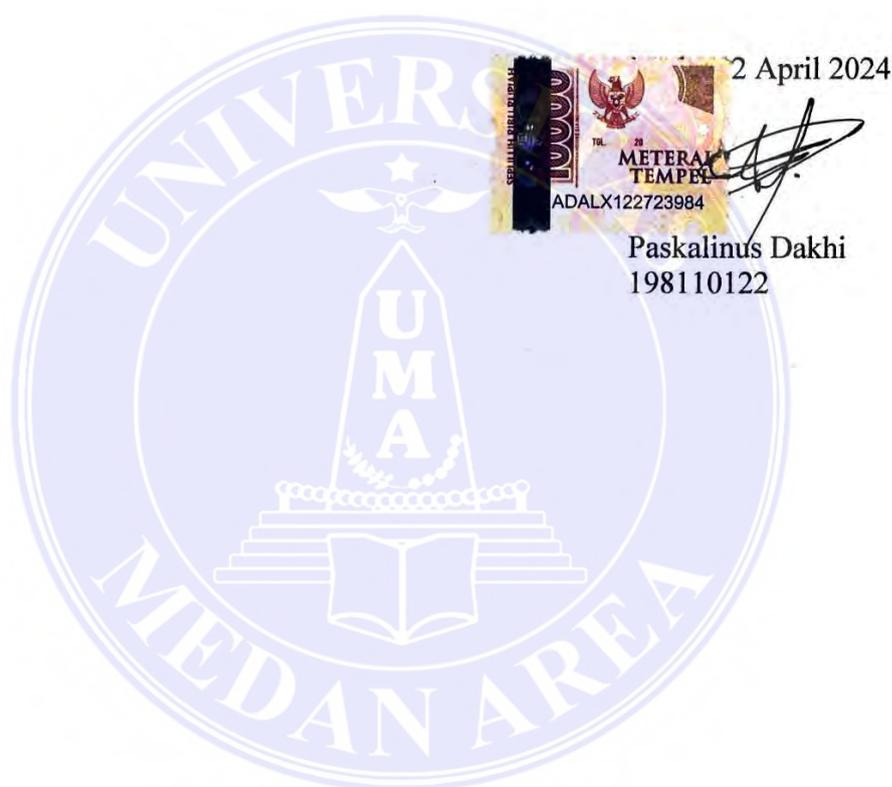

Dr. Endang Supriyanto, S.T., MT
Dekan


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

Tanggal Lulus : 2 April 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.



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Paskalinus Dakhi
NPM : 198110122
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 Berdasarkan SPT Pada Proyek Pembangunan Reklamasi Belawan Phase I. 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 : 2 April 2024
Yang menyatakan



(Paskalinus Dakhi)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Bawodobara Pada tanggal 23 april 2000 dari Ayah Semi Dakhi dan Ibu Latimani Hondro. Penulis merupakan putra ke 4 dari 5 bersudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMA Swasta St. Xaverius Gunungsitoli dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Irian Supermarket Medan Sumatera Utara.



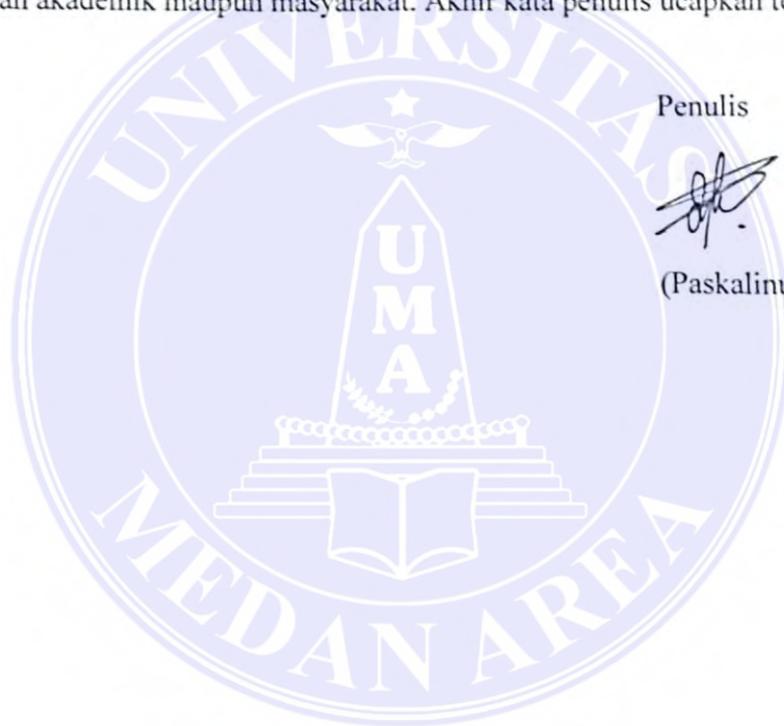
KATA PENGHANTAR

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 Modulus geser Tanah dengan judul Analisis Modulus Geser Tanah Berdasarkan SPT pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*. Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T selaku dosen pembimbing dan selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Teman – teman 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



(Paskalinus Dakhi)



ABSTRAK

Reklamasi Belawan dibangun untuk perluasan dermaga petikemas, namun kondisi tanah eksisting berdasarkan data SPT menunjukkan tanah tersebut merupakan tanah lunak. Menurut Badan Geologi Indonesia pada peta sebaran tanah lunak di Indonesia, Belawan yang merupakan salah satu wilayah Sumatera utara berada di daerah yang memiliki lapisan tanah yang lunak. Tanah lunak seringkali menimbulkan permasalahan pada struktur di atasnya dikarenakan daya dukung tanah yang lemah dan memiliki kadar air yang tinggi sehingga lemahnya dibangun sebuah konstruksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui modulus geser tanah berdasarkan SPT pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase - 1*. Berdasarkan persamaan empiris yang dikembangkan oleh Hardin dan Black nilai modulus geser maksimum/ G_{max} pada BH.01 dan BH.02 nilainya semakin tinggi. Dari titik BH.01 lapisan tanah pertama kedalaman 2 m nilai modulus geser/ $G_{max} = 98,6652 \text{ KN/m}^2$ dan lapisan tanah terakhir kedalaman 60,5 m nilai modulus geser/ $G_{max} = 163745,1052 \text{ kN/m}^2$. Pada titik BH.02 lapisan tanah pertama kedalaman 2 m nilai modulus geser/ $G_{max} = 7802,473 \text{ kN/m}^2$ dan lapisan tanah terakhir kedalaman 60,5 m nilai modulus geser/ $G_{max} = 89528,176 \text{ kN/m}^2$. Artinya semakin dalam tanah maka akan semakin besar tegangan *octahedral* ($\bar{\sigma}_0$) serta modulus geser tanah (G_{max}), semakin tinggi nilai tegangan tanah vertikal efektif (σ_v) maka akan semakin besar pula *octahedral* serta modulus geser tanah (G_{max}) dan semakin kecil angka pori (e) pada tanah maka semakin besar nilai modulus geser tanah (G_{max}). Disimpulkan bahwa semakin meningkatnya nilai modulus geser tanah, cenderung meningkatnya kekuatan geser tanah, sebaliknya tanah dengan modulus geser rendah lebih cenderung memiliki kekuatan geser yang rendah.

Kata Kunci : Reklamasi, Modulus geser tanah, SPT

ABSTRACT

Paskalinus Dakhi. 198110122. "The Analysis of Soil Shear Modulus Based on SPT on the Project Development of Belawan Reclamation". Supervised by Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T.

The Belawan Reclamation was constructed to expand the container pier, but the existing land conditions based on SPT (Standard Penetration Test) data show that the land is soft soil. According to the Geological Agency of Indonesia, on the map of the distribution of soft soil in Indonesia, Belawan, which is one of the regions of North Sumatra, is in an area that has soft soil layers. Soft soil often causes problems with the structure above because the soil's bearing capacity is weak and it has high moisture content so construction is weak. This research aimed to determine the soil shear modulus based on SPT at the Belawan Reclamation Project Phase 1. Based on the empirical equation developed by Hardin and Black, the maximum shear modulus/ G_{max} value at BH.01 and BH.02 was getting higher. From point BH.01, the first soil layer was 2 m deep, the shear modulus/ G value was 98.6652 KN/m^2 and the last soil layer was 60.5 m deep, the shear modulus/ G_{max} value was 163745.1052 kN/m^2 . At point BH.02 the first soil layer was 2 m deep, the shear modulus value/ $G_{max} = 7802.473 \text{ kN/m}^2$ and the last soil layer was 60.5 m deep, the shear modulus value/ $G_{max} = 89528.176 \text{ kN/m}^2$. This means that the deeper the soil, the greater the octahedral stress (σ_0) and soil shear modulus (G_{max}), the higher the effective vertical soil stress value (σ_v) the higher the octahedral and soil shear modulus (G_{max}), and the lower the pore number (e) on soil, the higher the value of the soil shear modulus (G_{max}). It was concluded that as the soil shear modulus value increased, the shear strength of the soil tended to increase, whereas soil with a low shear modulus tended to have low shear strength.

Keywords: Reclamation, soil shear modulus, SPT



30/04 - 2024

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Reklamasi	6
2.2.1 Jenis – jenis Reklamasi	7
2.2.2 Perencanaan Reklamasi Pantai	7
2.2.3 Metode Pelaksanaan Reklamasi Pantai	8
2.3 Tanah Lunak	9
2.3.1 Karakteristik Tanah Lunak	10
2.3.2 Tipe – tipe Tanah Lunak	11
2.3.3 Metode Perbaikan Tanah Lunak	13
2.4 Gempa Bumi	15
2.4.1 Jenis – jenis Gempa Bumi	16
2.4.2 Besar Kekuatan Gempa Bumi	17
2.5 Modulus Geser Tanah	19
2.6 Hitungan Modulus Geser Tanah	22
2.6.1 Tegangan Tanah	22
2.6.2 Metode Empiris dengan Rumus Hardin dan Black	25
2.7 Rambatan Getaran	27
2.7.1 Faktor yang Mempengaruhi Rambatan Getaran	27
2.7.2 Faktor yang Mempengaruhi Modulus Geser Tanah...	28
BAB III. METODE PENELITIAN	32
3.1 Lokasi Penelitian	32

3.2	Teknik Pengumpulan Data	32
3.2.1	Data Primer	32
3.2.2	Data Sekunder	35
3.3	Metode Analisis	35
3.4	Tahapan Penelitian	35
3.5	Diagram Alur	36
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Perhitungan Tegangan Tanah	38
4.1.1	Perhitungan Tegangan Tanah pada BH.01	38
4.1.2	Perhitungan Tegangan Tanah pada BH.02.....	40
4.2	Pehitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v)	41
4.2.1	Pehitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v) pada BH.01	41
4.2.2	Pehitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v) pada BH.02	43
4.3	Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah (PI).....	45
4.3.1	Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah (PI) pada BH.01	45
4.3.2	Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah (PI) pada BH.02	46
4.4	Perhitungan Koefisien Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam (K_0)	47
4.4.1	Perhitungan Koefisien Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam (K_0) pada BH.01	47
4.4.2	Perhitungan Koefisien Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam (K_0) pada BH.02	49
4.5	Perhitungan Tegangan Tanah <i>Octahedral</i> ($\bar{\sigma}$)	50
4.5.1	Perhitungan Tegangan Tanah <i>Octahedral</i> ($\bar{\sigma}$) pada BH.01	50
4.5.2	Perhitungan Tegangan Tanah <i>Octahedral</i> ($\bar{\sigma}$) pada BH.02	52
4.6	Perhitungan Suatu Konstanta (K)	53
4.6.1	Perhitungan Suatu Konstanta (K) pada BH.01.....	53
4.6.2	Perhitungan Suatu Konstanta (K) pada BH.02.....	55
4.7	Perhitungan Modulus Geser Maksimum Tanah (G_{max})	56
4.7.1	Perhitungan Modulus Geser Maksimum Tanah (G_{max}) pada BH.01	56
4.7.2	Perhitungan Modulus Geser Maksimum Tanah (G_{max}) pada BH.02	58
4.8	Pembahasan Hasil Perhitungan	59
BAB IV.	SIMPULAN DAN SARAN	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	xiv
LAMPIRAN	XV

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Berat Jensi (Gs) berbagai jenis tanah.....	11
Tabel 2 Klasifikasi Tanah berdasarkan tekstur tanah	12
Tabel 3 Hubungan antara konsistensi dan kuat tekan bebas (qu)	12
Tabel 4 Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak.....	13
Tabel 5 Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kadar serat.....	13
Tabel 6 Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa.....	16
Tabel 7 Magnitude Gempa dan pengaruh Gempa.....	18
Tabel 8 Nilai Representatif dari Modulus Geser (G)	21
Tabel 9 Nilai Poison Rasio (i).....	21
Tabel 10 Modulus Tegangan-Regangan (E)	22
Tabel 11 Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT	24
Tabel 12 Hubungan antara Plastisitas Indeks dengan nilai K.....	26
Tabel 13 Besar Sudut Geser dalam Tanah	30
Tabel 14 Data Bore log (BH.01) pada Proyek Reklamasi Belawan Phase- 1. 34	34
Tabel 15 Data Bore log (BH 02) pada Proyek Reklamasi Belawan Phase- 1. 34	34
Tabel 16 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat isi Tanah pada BH.01	39
Tabel 17 Hasil Perhitungan Interpolasi Berat isi Tanah pada BH.02	41
Tabel 18 Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif pada BH.01	43
Tabel 19 Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif pada BH.02....	45
Tabel 20 Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah pada BH.01	46
Tabel 21 Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah pada BH.02	47
Tabel 22 Hasil Perhitungan nilai koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam pada BH.01	48
Tabel 23 Hasil Perhitungan nilai koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam pada BH.02	49
Tabel 24 Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Octahedral pada BH.01	51
Tabel 25 Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Octahedral pada BH.02	53
Tabel 26 Hasil Perhitungan suatu konstanta (K) pada BH.01	54
Tabel 27 Hasil Perhitungan suatu konstanta (K) pada BH.02	56
Tabel 28 Hasil Perhitungan Modulus Geser Maximum Tanah pada BH.01....	57
Tabel 29 Hasil Perhitungan Modulus Geser Maximum Tanah pada BH.02....	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Peta Sebaran Tanah Lunak Provinsi Sumatera Utara	9
Gambar 3 <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	14
Gambar 3 Prinsip <i>Preloading</i> dengan PVD	14
Gambar 4 <i>Normal dip-slip fault</i>	16
Gambar 5 <i>Reverse dip-slip fault</i>	16
Gambar 6 <i>Strike - slip fault</i>	16
Gambar 7 Hubungan antara G/G_{max} lawan regangan geser	20
Gambar 8 <i>Effective Confining Pressure</i>	29
Gambar 9 Lokasi Proyek	32
Gambar 10 Diagram Alir	37
Gambar 11 Grafik Perbandingan Tegangan Tanah <i>Octahedral</i> ($\bar{\sigma}$) setiap kedalaman pada BH.01 dan BH.02	60
Gambar 12 Grafik Perbandingan Modulus Geser Maksimum (G_{max}) setiap kedalaman pada BH.01 dan BH.02	60
Gambar 13 Grafik Perbandingan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v) pada BH.01 dan BH.02	61
Gambar 14 Grafik Hubungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v) dengan Modulus Geser Tanah (G_{max}) pada BH.01	61
Gambar 15 Grafik Hubungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v) dengan Modulus Geser (G_{max}) pada BH.02	62
Gambar 16 Grafik Hubungan Nilai Tegangan Tanah Octahedral ($\bar{\sigma}_0$) dengan Modulus Geser (G_{max}) pada BH.01	62
Gambar 17 Grafik Hubungan Nilai Tegangan Tanah Octahedral ($\bar{\sigma}_0$) dengan Modulus Geser (G_{max}) BH.02	63



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reklamasi merupakan kegiatan menambah luasan daratan pada perairan, dengan cara menimbun menggunakan material pasir, batuan dan tanah sehingga membentuk sebuah daratan yang dapat dimanfaatkan untuk membangun suatu bangunan.

Reklamasi Belawan dibangun untuk perluasan dermaga petikemas, namun kondisi tanah eksisting berdasarkan data SPT menunjukkan tanah tersebut merupakan tanah lunak. Menurut Badan Geologi Indonesia pada peta sebaran tanah lunak di Indonesia, Belawan berada didaerah yang memiliki lapisan tanah yang lunak. Tanah lunak seringkali menimbulkan permasalahan pada struktur diatasnya dikarenakan daya dukung tanah yang lemah dan memiliki kadar air yang tinggi sehingga lemahnya dibangun sebuah konstruksi.

Pada kondisi gempa, tanah mengalami pergerakan. Tanah akan bergetar sebagai efek dari menjalarnya gelombang energi yang memancar dari pusat gempa (Fokus). Dari peristiwa tersebut menyebabkan energi menyebar kesegala arah pada tanah. Gempa bumi memicu gaya dinamik khususnya gaya gesek dinamik yang mengurangi kuat geser (*share strength*) dan kekakuan tanah (*soil stiffness*). Selain gempa bumi pergerakan tanah juga disebabkan oleh pengoperasian mesin yang dapat menghasilkan getaran kelapisan tanah.

Modulus geser tanah merupakan salah satu parameter penting dalam perencanaan dan analisis struktur geoteknik. Modulus geser tanah adalah ukuran kekakuan tanah terhadap geser atau perubahan bentuk. Ini menggambarkan

bagaimana kemampuan tanah untuk menahan gaya geser atau perubahan bentuk yang dapat mempengaruhi perilaku tanah dalam berbagai aplikasi seperti pondasi, dinding penahan tanah, dan struktur geoteknik lainnya. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui berapa besar modulus geser tanah pada proyek Reklamasi Belawan *Phase I*.

Analisis modulus geser tanah berdasarkan SPT dengan metode empiris memiliki keterikatan yang mendalam bagi industri konstruksi saat ini. Dengan menggunakan metode ini memudahkan para insinyur dan perencana mendapatkan informasi yang lengkap tentang jenis tanah atau sifat fisik tanah disuatu lokasi proyek. Oleh sebab itu peneliti tertarik mengambil judul Analisis Modulus Geser Tanah berdasarkan SPT pada Proyek Pembangunan Reklamasi Belawan *Phase I*

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas maka diperoleh rumusan masalah yaitu bagaimana menginterpretasikan data SPT untuk mendapatkan nilai modulus geser tanah dimana nilainya tergantung pada sifat fisik tanah dan bagaimana pengaruh parameter tanah terhadap nilai Modulus Geser Tanah.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian adalah melakukan analisis modulus geser tanah berdasarkan data SPT pada proyek reklamasi Belawan *Phase I*. Sedangkan tujuan penelitian adalah :

1. Mendapatkan nilai modulus geser menggunakan persamaan empiris Hardin dan Black dengan data BH.01 dan BH.02
2. Membandingkan hubungan antara Tegangan vertikal efektif dan modulus geser maksimum/ G_{max} serta oktahedral dan modulus geser maksimum/ G_{max}

1.4 Batasan Masalah

Agar tidak lari dari pembahasan maka penulis memberikan batasan - batasan masalah :

1. Penelitian pada judul ini menggunakan metode empiris dengan rumus Hardin & Black.
2. Data yang diambil hanya berupa data SPT
3. Hanya berfokus pada analisis modulus geser tanah

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Pemahaman tentang perilaku sifat fisik mekanik tanah dan mekanik tanah sebagai dasar perencanaan dan perancangan bangunan.
2. Analisis modulus geser tanah dengan metode empiris dapat memberikan pendekatan awal yang cepat dalam perencanaan proyek.
3. Pengembangan Ilmu Mekanika Tanah pada bidang Teknik Sipil.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan referensi untuk penulis melakukan penelitiannya agar membantu dalam memperbanyak teori atau wawasan penelitian. Selama penelitian ini penulis tidak menemukan yang sejenis dengan judul ini, maka dari itu penulis hanya bisa mengambil penelitian terdahulu yang sedikit menyerupai judul penelitian penulis untuk menjadikan referensi atau perbandingan dengan penelitian terdahulu.

Berikut ini adalah jurnal dari penelitian terdahulu yang beberapa terkait dalam penelitian.

1. Edy Purwanto (2008), dengan judul penelitian Nilai Modulus Geser Tanah Berdasarkan Rumus Hardin & Drnevich (1972) dan Menard (1962) dari Uji Laboratorium. Dari hasil penelitiannya diperoleh bahwa: Tanah lempung yang berasal dari Salaman berdasarkan Rumus Hardin & Drnevich modulus geser maksimum rata-rata didapatkan sebesar 6,942 Mpa, dibandingkan dengan rumus Menard didapatkan sebesar 15,95 Mpa. Tanah lempung yang berasal dari Mertoyu dan berdasarkan Rumus Hardin & Drnevich modulus geser maksimum rata-rata didapatkan sebesar 5,461 Mpa, dibandingkan dengan dengan rumus Menard didapatkan sebesar 14,83 Mpa. Tanah lempung yang berasal dari sungai Karasak berdasarkan Rumus Hardin & Drnevich modulus geser maksimum rata-rata didapatkan sebesar 12,942 Mpa, dibandingkan dengan dengan rumus Menard didapatkan sebesar 28,09 Mpa.

2. Edy Nugroho dan Sity Khomariyah (2005), dengan judul penelitian Studi Eksperimental di Labortorium Tentang Nilai Modulus Geser berdasarkan Rumus Hardin dan Black serta Menard. Hasil dari penelitiannya menjelaskan bahwa : Dengan rumus Hardin dan Black Penambahan kadar air sebesar 5% dari kadar air lapangan menyebabkan nilai modulus geser tanah (G_{max}) bertambah dari 19,457 MPa menjadi 19,87 MPa, sebaliknya jika pengurangan air kadar 5% maka nilai modulus geser tanah (G_{max}) menurun dari 19,457 MPa menjadi 19,236 MPa. Penambahan berat volume 5% dari berat volume lapangan menyebabkan nilai modulus geser tanah (G_{max}) menurun dari 19,457 MPa menjadi 15,056 MPa, sebaliknya jika pengurangan berat volume 5% maka nilai modulus geser tanah (G_{max}) tetap menurun dari 19,457 MPa menjadi 18,433 MPa. Pada tanah pasir data yang diperoleh nilai modulus geser tanah (G_{max}) pada kondisi air dan berat volume lapangan adalah 16,736 MPa. Menurut rumus Menard penambahan kadar air 5% dari kadar air lapangan bisa menyebabkan nilai modulus geser tanah (G_{max}) bertambah dari 10,17 menjadi 16,13 MPa, sebaliknya jika pengurangan kadar air 5% maka nilai modulus geser tanah (G_{max}) tetap bertambah dari 10,17 MPa menjadi 16,72 MPa. Penambahan berat volume 5% dari berat volume lapangan menyebabkan nilai modulus geser tanah (G_{max}) bertambah dari 10,17 MPa menjadi 27,03 MPa, sebaliknya jika pengurangan berat volume 5% maka nilai modulus geser tanah (G_{max}) akan tetap bertambah dari 10,17 MPa menjadi 11,83 MPa. Pada tanah pasir diperoleh data bahwa nilai Modulus (G_{max}) pada kondisi kadar air dan berat volume lapangan adalah 62,14 Mpa.

3. Oky Abdurahman Saleh. P. (2005), dengan judul Nilai Modulus Geser Tanah, dari Hasil Uji Laboratorium berdasarkan rumus Hardin & Black, Menard, Hardin & Richard serta Hardin & Drnevich,. Berikut hasil dari penelitiannya. Kondisi tanah lapangan/tidak terganggu (*undisturbed*) Desa Mertoyudan memperoleh nilai modulus geser maksimum yaitu : 6,939 kPa (Hardin & Black), 16,065 kPa (Hardin & Richard), 16,724 kPa (Hardin & Drnevich) dan 11,168 kPa (Menard). Untuk tanah pasir kampus UII, kondisi tanah lapangan/tidak terganggu (*undisturbed*) memperoleh nilai modulus geser maksimum yaitu 13,343 kPa (Hardin & Richard) dan 90,010 kPa (Menard).

2.2 Reklamasi

Secara umum reklamasi merupakan suatu proses pemulihan pada daratan dengan membuka daratan yang baru dikawasan pesisir. Reklamasi adalah upaya perluasan daratan atau tanah untuk dibuat lahan baru yang dapat dimanfaatkan untuk pembangunan perumahan, industri, bisnis, pertokoan, pertanian atau pariwisata. Reklamasi dilakukan di negara – negara dan kota – kota yang besar yang tingkat pertumbuhan dan luas lahan yang dibutuhkan meningkat pesat, namun terkendala oleh kontraksi lahan (keterbatasan lahan). Dalam kondisi seperti ini, perluasan kota ke arah darat tidak lagi memungkinkan dan dibutuhkan lahan baru.

Tujuan dari reklamasi yaitu memperbaiki lahan yang rusak, dimana gelombang yang besar pada pesisir pantai sering kali merusak area disekitarnya oleh karena itu perlu dilakukannya reklamasi. Fungsi reklamasi adalah untuk memulihkan kondisi pesisir dan juga memulihkan upaya perlindungan untuk

menghindari kerusakan dikemudian hari. Reklamasi merupakan salah satu cara yang tepat untuk mencegah terjadinya erosi pada pesisir pantai dan dengan adanya reklamasi akan memperkuat wilayah tersebut. Memperluas lahan menjadi salah satu tujuan utama reklamasi dengan meningkatnya jumlah jiwa dan berkurangnya lahan-lahan menjadi faktor utama adanya reklamasi.

2.2.1 Jenis – jenis Reklamasi

a. Reklamasi Daratan

Reklamasi daratan biasanya disebut sebagai reklamasi, adalah proses pembuatan lahan baru dari dasar laut atau dasar sungai. Lahan yang direklamasi disebut sebagai lahan reklamasi atau reklamasi. Membuka rawa atau pertanian adalah contoh perusakan habitat. Dibeberapa bagian dunia, hukum lingkungan membatasi atau melarang proyek reklamasi lahan baru.

b. Reklamasi Pantai

Reklamasi pantai merupakan proses perluasan daratan didaerah pantai dengan cara menimbun laut dengan material tertentu yang dapat berupa batu, tanah atau pasir. Dengan begitu akan terbentuk daratan baru yang bisa dimanfaatkan untuk berbagai pembangunan fasilitas kota seperti pelabuhan, pemukiman, dan lain sebagainya.

2.2.2 Perencanaan Reklamasi Pantai

Pada perencanaan Reklamasi pantai, material yang digunakan untuk penimbunan tidak boleh berupa pasir halus berbutir homogen 100% atau material yang memiliki kandungan lempung $\geq 20\%$. Jika penimbunan reklamasi memiliki material pasir halus berbutir homogen 100% akan mengalami likuifaksi saat

terjadi gempa seismik. Likuifaksi adalah naiknya harga tegangan pori (u) hingga sama dengan nilai tegangan *overburden* (σ_0), sehingga mengakibatkan tegangan efektif (σ') sama dengan nol. Jika timbunan reklamasi didalam laut dengan material mengandung lempung $\geq 20\%$, maka akan mengakibatkan instabilitas didalam timbunan reklamasi tersebut akibat dari kembang susut yang besar, *settlement* yang besar, partikel tanah mudah bergerak, dan lain-lain. Apabila kondisi-kondisi tersebut terjadi pada timbunan reklamasi, maka timbunan reklamasi tanah akan runtuh atau *rupture*.

Persyaratan teknik material yang biasa digunakan dalam merencanakan timbunan reklamasi menurut Wahyudi (1997) sebagai berikut :

- a. Bersih dan bebas dari bahan organik
- b. Diameter maksimum butiran = 20 cm
- c. Memiliki persentase material berdimensi halus (lebih kecil dari 0.08 mm) < 20%.
- d. Memiliki relative Density (D_r) minimum sebesar 80% untuk zona diatas permukaan air pasang dan minimum 60% untuk zona diatas muka air pasang.
- e. Memiliki permeabilitas (K) minimum = 1×10^{-5} m/s.

2.2.3 Metode Pelaksanaan Reklamasi Pantai

Proses awal pelaksanaan yaitu pembuatan tanggul disepanjang kawasan reklamasi, tujuannya untuk menahan gerusan air laut dan menahan material timbunan supaya tetap dalam kawasan reklamasi.

Setelah pekerjaan tanggul selesai, kemudian dilanjutkan dengan pekerjaan *dewatering*, pekerjaan *dewatering* adalah proses mengeluarkan air dari

kawasan reklamasi, ini bertujuan untuk menurunkan elevasi air laut selama proses penimbunan, agar memperoleh timbunan yang optimal dan timbunan tidak mengandung kadar air yang tinggi.

Selanjutnya penghamparan material. Penghamparan material dilakukan per lapis/layer dengan ketebalan padat sesuai yang direncanakan, kemudian dilanjutkan pemadatan dan perataan dengan menggunakan alat berat sehingga tidak terdapat cekungan – cekungan yang memungkinkan menjadi tempat tampungan air apabila turun hujan.

2.3 Tanah Lunak

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.

Salah satunya Belawan, merupakan daerah yang berada di pesisir pantai Sumatera Utara yang memiliki jenis tanah gambut dan tanah organik menurut badan Geologi Indonesia pada peta sebaran tanah lunak di Indonesia. Dapat dilihat pada Gambar 1 merupakan peta sebaran tanah lunak di Sumatera Utara.



Gambar 1. Peta Sebaran Tanah Lunak Provinsi Sumatera Utara (Badan Geologi Atlas Sebaran Tanah Lunak, 2019)

Tanah lunak umumnya memiliki sifat kompresibilitas yang tinggi, permehabilitas yang rendah, penurunan konsolidasi yang besar, sudut geser dalam tanah dan daya dukung yang rendah. Lapisan tanah disebut lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*slit*) yang mempunyai harga pengujian penetrasi standar (*Pstandard Penetration Test*) *N* 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.

Menurut Hardiyanto (2006), sifat - sifat tanah lempung adalah sebagai berikut :

1. Ukuran butiran halus kurang dari 0,002 mm
2. Permehabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Bersifat sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat.

Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, tetapi dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau dan juga bercampur bahan organik.

2.3.1 Karakteristik Tanah Lunak

Karakteristik tanah lunak adalah kondisi tanah yang mengandung kadar air yang tinggi, ukuran butiran yang kecil serta memiliki gradasi butiran yang buruk, koefisien permeabilitas yang kecil dan memiliki daya dukung yang rendah. Ketika tanah lunak diberi beban bangunan konstruksi maka tanah lunak akan

mengalami deformasi seperti kerusakan tanah pondasi. Meskipun intensitas beban kurang dari daya dukung kritis, dalam jangka waktu yang lama penurunan akan terus meningkat yang akhirnya menyebabkan kerusakan pada konstruksi. Sifat seperti ini sangat tidak menguntungkan untuk dijadikan sebagai lapisan tanah dasar.

Das (1993) dari hasil pengujiannya di lapangan dan laboratorium menyatakan bahwa tanah tersebut tergolong lunak apabila koefisien rembesan (K) sangat rendah ≤ 0.0000001 cm/dt, batas cair (LL) $\geq 50\%$, angka pori (e) antara 2,5 - 3,2, kadar air dalam keadaan jenuh antara 90% - 120 %, serta berat spesifikasi (Gs) berkisar antara 2,6 – 2,9. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Berat Jensi (Gs) berbagai jenis tanah (Darwis, Dasar-dasar Mekanika Tanah, 2018)

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

2.3.2 Tipe – tipe Tanah Lunak

Sistem USDA (*U.S Department of Agriculture*) membagi tanah menjadi tiga kelompok utama yaitu tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah dengan kandungan organik yang tinggi. Dalam dasar – dasar mekanika tanah tentang Sistem Klasifikasi Tanah Lunak, tanah berbutir halus dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan kandungan organiknya. Dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah berdasarkan tekstur tanah (Darwis, Dasar-dasar Mekanika Tanah, 2018)

Ukuran Butiran (mm)	Kelompok Tanah
2,0 – 0,05	Pasir
0,05 – 0,002	Lanau
< 0,002	Lempung

Tipe – tipe tanah lunak dibagi menjadi tiga jenis yaitu

1. Tanah Organik

Tanah organik (o) dikelompokkan berdasarkan kandungan organiknya yaitu 25% - 75%. Tanah organik dikelompokkan dalam OL dan OH berdasarkan dari plastisitasnya, dimana L = *low plasticity* (plastisitas rendah, $LL < 50$) dan H = *high plasticity* (plastisitas tinggi, $LL > 50$).

2. Tanah Inorganik Berbutir Halus

Berdasarkan sistem USDA, tanah berbutir halus dibagi dalam sub kelompok sebagai lempung (C) dan lanau (M). lanau merupakan tanah berbutir halus memiliki batas cair dan indeks plastisitas. Hubungan antara konsisten dan kuat tekan bebas (q_u) untuk tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Hubungan antara konsistensi dan kuat tekan bebas (q_u) (Hadiyatmo, Teknik Pondasi 1, 2002)

Konsistensi	q_u (Kn/m^2)
Sangat Lunak	< 25
Lunak	25 – 50
Sedang	50 -100
Kaku	100 - 200
Sangat Kaku	200 - 400
Keras	400

Tanah jenis lempung mengandung kadar air yang tinggi, menyebabkan kuat geser rendah. Dalam rekayasa geoteknik istilah “lunak” dan “sangat lunak” defenisinya dapat dilihat pada Tabel 2.3. Prosedur identifikasi

lapangan memberikan petunjuk kekuatan lempung, dapat dilihat pada

Tabel 4. berikut :

Tabel 4. Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak (Paduan Geoteknik 1, 2002)

Konsistensi	Indikator Lapangan
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah menggunakan tanah
Sangat Lunak	Jika diremas akan keluar dari kepalan tangan

3. Gambut

Gambut merupakan jenis tanah yang memiliki kadar air organik 75%.

Berdasarkan kandungan seratnya, tanah gambut dikelompokkan menjadi dua kelompok, ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kadar serat (Paduan Geoteknik 1, 2002)

Kadar Serat	Kelompok Gambut
< 20%	Berserat (fibros)
> 20%	Armoft

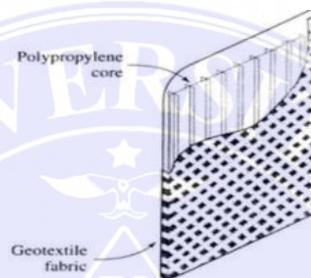
2.3.3 Metode Perbaikan Tanah Lunak

Perbaikan tanah lunak dilakukan untuk memperbaiki sifa-sifat tanah, seperti kuat geser, kekakuan, dan permeabilitas dari tanah lunak. Tujuan perbaikan tanah lunak adalah menaikkan kapasitas dukung tanah, dan mereduksi penurunan bangunan, sehingga tanah tersebut dapat menahan beban dari atas (struktur).

Metode Perbaikan Tanah *Preloading* Dengan PVD

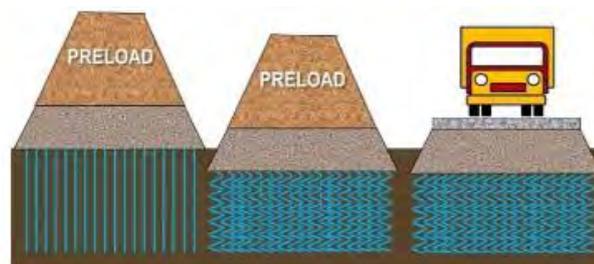
Preloading (pembebanan) adalah sistem perbaikan tanah dengan memberi beban diatas tanah sampai tanah dasar mencapai derajat konsolidasi yang direncanakan sehingga mengoptimalkan kinerja PVD.

PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) berfungsi untuk mengalirkan air ke permukaan tanah sehingga mempercepat laju konsolidasi. PVD umumnya berbentuk pita lembaran plastik yang sangat panjang dan berkantung yang merupakan kombinasi antara bahan inti (*core*) *polypropylene* berkekuatan mekanik tinggi dan lapisan pembungkus berasal dari bahan geotekstil. PVD memiliki lebar 90 - 100 mm dan ketebalannya 2 - 6 mm. Dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Prefabricated Vertical Drain* (A. Onggo 2019)

Sistem perbaikan tanah metode *Preloading* dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dilakukan dengan cara meletakkan beban (*preload*) diatas tanah dasar sesuai dengan beban kerja (*work load*) dan juga beban konstruksi (*construction load*) yang telah direncanakan. Pembebanan dilakukan sampai konsolidasi tanah dasar mencapai derajat konsolidasi yang telah direncanakan. Apabila konsolidasi tanah mencapai batas yang direncanakan maka *preload* dibongkar dan tanah tersebut bisa digunakan untuk pembangunan konstruksi. Gambar 3. merupakan metode *preloading* dengan PVD.



Gambar 3. Prinsip *Preloading* dengan PVD (Wahyu 2016)

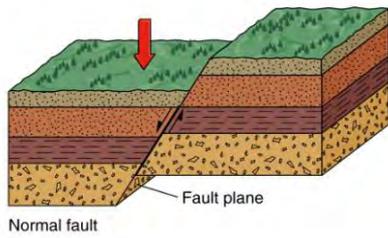
Perbaikan tanah lempung lunak dengan metode *preloading* dan PVD memiliki ikatan sangat erat karena mempunyai tujuan yang sama yaitu memampatkan tanah lunak. *Preload* berfungsi untuk memampatkan tanah dasar sedangkan PVD berfungsi untuk mempercepat proses pampatan tanah. *Horizontal drain* berfungsi untuk mengalirkan air pori dari PVD ke arah horizontal keluar timbunan *preload*.

2.4 Gempa Bumi

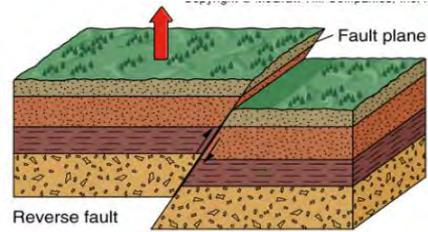
Menurut M. T. Zein, gempa bumi merupakan suatu gerakan tiba – tiba atau rentetan gerakan tiba-tiba dari tanah yang bersifat transiet yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah. Gempa adalah patahnya lapisan tanah atau batuan didalam kulit bumi dikarenakan pelepasan energi secara tiba – tiba dan menyebabkan getaran atau guncangan pada tanah.

Berbagai jenis-jenis patahan pada lapisan tanah dikelompokkan menurut sifat pergeserannya pada bidang patahan yaitu :

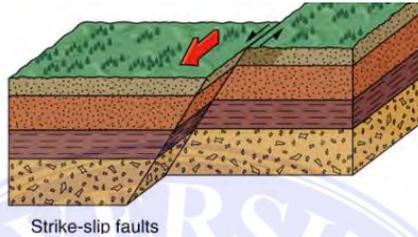
1. Patahan yang bergeser searah kemiringan bidang patahan (*dip – slip faults*). Dibedakan menjadi dua patahan yaitu patahan turun (normal) jika patahan blok lapisan batuan bergerak turun, dan patahan naik (anjak/reverse) jika patahan blok lapisan batuan bergerak naik.
2. Patahan yang bergeser searah jurus bidang patahan (*strike - slip faults*). Dibedakan menjadi dua patahan yaitu patahan sinistral jika patahan blok lapisan batuan bergerak mendatar ke sebelah kiri, dan patahan dekstral jika patahan blok lapisan batuan bergerak mendatar ke sebelah kanan. Gambar dibawah ini adalah jenis jenis patahan.



Gambar 4. *Normal dip-slip fault* (Georgraph88, 2014)



Gambar 5. *Reverse dip-slip fault* (Georgraph88, 2014)



Gambar 6. *Strike - slip fault* (Georgraph88, 2014)

2.4.1 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 geraknya. Bila gempa tektonik terjadi biasanya akan disusulan gempa - gempa lainnya tergantung dari kedalaman gempanya. Pembagian gempa tektonik berdasarkan kedalaman gempa dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Jenis Gempa Tektonik Berdasarkan Kedalaman Gempa (Badan Geologi, 2019)

Jenis Gempa	Kedalaman
Gempa Bumi Dangkal	0 – 70 km
Gempa Bumi Menengah	71 – 300 km
Gempa Bumi Dalam	> 300 km

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 di atasnya 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 longsor 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.

2.4.2 Besar Kekuatan Gempa

Metode yang digunakan dalam mengklasifikasi besar kekuatan gempa yaitu dengan menggunakan parameter magnetudo (skala richer) dan metode MMI (*Modified Marcalli Intensity*).

a. Skala richer (SR)

Skala richer (SR) merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam mengklasifikasi skala gempa. Satuan ini diciptakan oleh vulkanlogis yang bernama Charles F. Richter yang berkerjasama 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 7.

Tabel 7. *Magnitude* Gempa dan pengaruh Gempa (Wardhiny 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 didalam 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	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

b. Skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*)

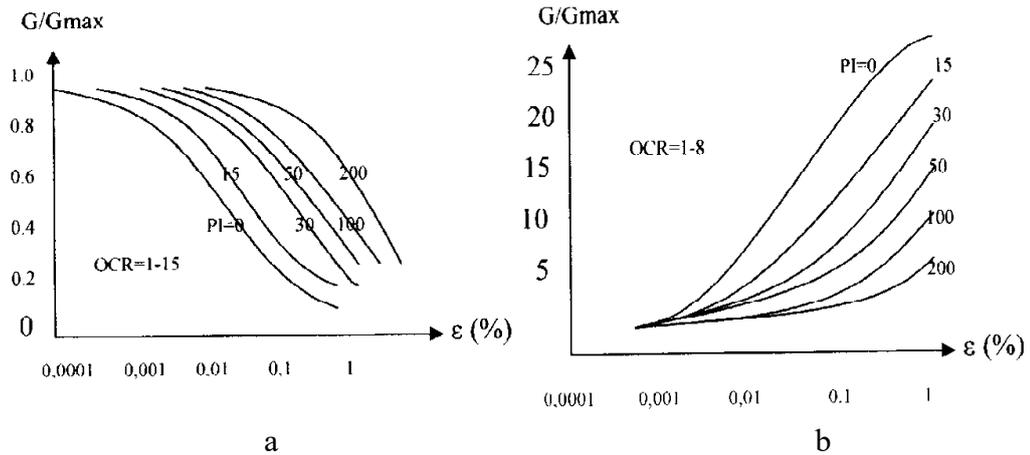
Merupakan satuan yang diciptakan oleh seorang ahli vulkanologis yang berasal dari Italia yang bernama Giuseppe Mercalli pada tahun 1902. Dalam metode pembagian skala MMI ini dibagi menjadi 12 jenis yang diambil berdasarkan informasi dari orang-orang yang selamat dari gempa bumi dan kemudian hasilnya 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.

2.5 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 (G_{max}) 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 7 grafik berikut :



Gambar 7. Hubungan antara G/G_{max} lawan regangan geser (Bowles, Analisis dan desain Pondasi, 1996)

Pada gambar 7.a 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.

Cunney 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.

Dibawah ini dapat dilihat nilai-nilai Modulus Geser (G) *Poition Rations* (μ), dan modulus Tegangan Regangan (E), yang dipersentatipkan beberapa ahli.

Tabel 8. Nilai Representatif dari Modulus Geser (G) (Bowles, Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1)

Bahan	Ksi	Mpa
Pasir Kwartsa Mampat Bersih	1,8 – 3	12 – 20
Pasir halus Mika	2,3	16
Pasir Berlin ($e = 0,53$)	2,5 – 3,5	17 – 24
Pasir Tanah Liat	1,5	10
Pasir Kerikil Mampat	10	70
Lempung Berlumpur Lembek	1,3 – 2	9 – 15
Lanjutan Tabel 8		
Basah		
Lempung Berlumpur Lembek	2,5 – 3	17 – 24
Kering		
Lempung Berlumpur Kering	4 – 5	25 – 35
Lempung Sedang	2 – 4	12 – 30
Lempung Berpasir	2 - 4	12 - 30

Tabel 9. Nilai Poison Rasio (i) (Bowles, Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1)

Jenis Tanah	Poison Rasion (μ)
Lempung Jenuh	0,4 – 0,5
Lempung, tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,3 – 0,35
Lanau	0,2 – 0,4
Pasir (padat)	
Kasar (angka pori = 0,4 – 0,7)	0,15
Berbutir halus (angka pori = 0,4 – 0,7)	0,25
Batuan	0,1 – 0,4 (agak tergantung jenis batuan)
Tanah Lus	0,1 – 0,3
Es	0,36
Beton	0,15

Tabel 10. Modulus Tegangan-Regangan (E) (Bowles, Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1)

Tanah	Modulus Tegangan – Regangan (E)	
	Ksf	MPa
<u>Lempung</u>		
Sangat Lunak	50 – 250	2 – 15
Lunak	100 – 500	5 – 25
Sedang	300 – 1000	15 – 50
Keras	1000 – 2000	50 – 100
Berpasir	500 – 5000	25 – 250
<u>Laci Es</u>	200 – 3200	10 – 153
Lepas	3000 – 15000	144 – 720
Padat	10000 – 30000	478 – 1440
Sangat Padat	300 – 1200	14 – 57
<u>Pasir</u>		
Berlanau	150 – 450	7 – 21
Lepas	200 – 500	10 – 24
Padat	1000 – 1700	48 – 81
<u>Pasir dan Kerikil</u>		
Lepas	1000 – 3000	48 – 144
Padat	2000 – 4000	96 – 192
<u>Serpih</u>	3000 – 300000	144 – 14400
Lanau	40 – 4000	2 – 20

2.6 Hitungan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

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

2.6.1 Tegangan Tanah

Tegangan pada lapisan tanah akibat beban dari tanah di atasnya, tanpa memperhitungkan tegangan air pori akibat air (μ), disebut tegangan vertikal total.

Tegangan vertikal total dapat dihitung sebagai berikut.

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

Dimana :

- σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)
- γ = Berat isi lapisan tanah (kN/m²)
- z = 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 :

- μ = Tekanan air pori (kN/m²)
- γ_w = Berat volume air = 9,81 (kN/m²)
- z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Air tertekan mengalir keluar hingga tekanan air pori menurun. Ketika tekanan air pori hilang, beban total tanah dipikul oleh kontak antara partikel – partikel tanah, yang disebut tegangan vertikal evektif. Tegangan vertikal efektif tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

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

Dimana :

- σ'_v = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)
- σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)
- μ = Tegangan air pori tanah (kN/m²)

Perhitungan manual diatas dapat digunakan jika terdapat data hasil pengujian *sieve analysis*, namun jika tidak terdapat data hasil pengujian *sieve analysis*, maka perhitungan nilai tegangan dapat menggunakan nilai korelasi pada Tabel 11 di bawah ini :

Tabel 11. Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk jenis Tanah pasir (*Sand*) dan lempung (*Clay*) (Kouretzis, 2018)

Nilai N-SPT	Soil Parameters Description	Nilai Koreksi		
		Relative Density Dr %	γ (kN/m ²)	ϕ' (deg)
<i>Sand</i>				
0 – 3	<i>Very Loose</i>	0	11.0 – 15.7	25 – 30
4 – 9	<i>Loose</i>	15	14.1 – 18.1	27 – 32
10 – 29	<i>Medium</i>	35	17.3 – 20.4	30 – 35
30 – 49	<i>Dense</i>	65	18.8 – 22.0	35 – 40
> 50	<i>Very Dense</i>	85	20.4 – 23.6	38 - 43
<i>Clay</i>				
0 – 1	<i>Very Soft</i>		15.7 – 18.8	20
2 – 3	<i>Soft</i>			12
4 – 7	<i>Medium</i>		17.3 – 20.4	25
8 -15	<i>Stiff</i>			50
16 – 31	<i>Very Stiff</i>		18.8 – 22.0	100
32	<i>Hard</i>			200

Pada nilai korelasi diatas, untuk mendapatkan berat isi tanah (γ) 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 :

γ = Berat isi tanah (kN/m²)

y = Selisih nilai N-SPT (Batas atas – Batas bawah)

x = Selisih nilai N-SPT (Nilai N-SPT pengujian – batas bawah)

z = Selisih ($\gamma_{atas} - \gamma_{bawah}$)

γ_1 = Nilai γ

2.6.2 Metode Empiris dengan Rumus Hardin dan Black

Rumus empiris yang diturunkan dari hasil uji laboratorium yang dilakukan Hardin dan Black (1968) pada amplitudo getaran rendah antara lain :

a. Pasir berdegradasi bulat $G_{max} = \frac{6908(2,17-e)^2}{1+e} (\bar{\sigma})^{0,50}$ 5

Jika lapisan tanah adalah jenis pasir (*sand*) maka untuk perhitungan modulus geser tanah nya menggunakan rumus diatas

b. Pasir bersudut $G_{max} = \frac{3230(2,97-e)^2}{1+2e} (\bar{\sigma}_0)^{0,50}$ 6

Jika lapisan tanah adalah jenis pasir bersudut maka untuk perhitungan modulus geser tanah nya menggunakan rumus diatas

Dimana :

$\bar{\sigma}_0$ = tegangan *octahedral* efektif (kPa)

Untuk $\bar{\sigma}_1 \neq \bar{\sigma}_2 \neq \bar{\sigma}_3$ besarnya, $\bar{\sigma}_0 = \frac{1}{3}(\bar{\sigma}_v + 2\bar{\sigma}_v(1-\sin \phi))$

$\bar{\sigma}_v$ = tegangan vertikal efektif (kPa), dan ϕ sudut geser dalam tanah

$K_0 = (1 - \sin \phi)$ = koefisien tekanan tanah lateral dalam keadaan diam
(*at rest*)

c. Tanah Lempung $G_{max} = \frac{3230(2,97-e)^2}{1+e} (OCR)^K \bar{\sigma}_0^{(0,50)}$ 7

Bila lapisan tanah adalah jenis Tanah lempung (*Clay*) maka untuk perhitungan modulus geser tanah nya menggunakan rumus diatas

Dimana :

$\bar{\sigma}_0$ = tegangan efektif *octahedral* = $\frac{1}{3}(\bar{\sigma}_v + 2K_0\bar{\sigma}_v)$

K_0 = koefisien tekanan lateral tanah dalam keadaan diam

$$K_0 = 0,40 + 0.007 \text{ PI untuk } 0 < \text{PI} < 40\%$$

$$K_0 = 0,68 + 0.001 (\text{PI} - 40) \text{ untuk } 40\% < \text{PI} < 80\%$$

Sedangkan nilai K yang merupakan fungsi indeks plastisitas tanah diperoleh dari Tabel 12 berikut :

Tabel 12. Hubungan antara Plastisitas Indeks dengan nilai K (Hardin dan Black, 1968)

Plastisitas Indeks	K
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
>100	0,5

Dimana :

G_{maks} = Modulus geser maksimum (kN/m^2)

$\bar{\sigma}_0$ = Tegangan efektif *octahedral* (kN/m^2)

OCR = *Overconsolidated ration*

K = Suatu konstanta

$\bar{\sigma}_v$ = Tegangan vertikal efektif (kN/m^2)

PI = Indeks plastisitas tanah

K_0 = Koefisien tekanan tanah dalam keadaan rest

Untuk mendapatkan nilai K yang merupakan fungsi indeks plastisitas tanah diatas dapat digunakan rumus interpolasi sesuai dengan nilai PI (nilai plastisitas indeks) dengan rumus sebagai berikut :

$$K = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \times (y_2 - y_1) \dots\dots\dots 8$$

Dimana :

K = Konstanta

y_1 = selisih nilai suatu konstanta (K) (Batas atas - Batas bawah)

y_2 = selisih nilai suatu konstanta (K) (Batas bawah - Batas atas)

x = nilai indeks plastisitas tanah

x_1 = selisih nilai Plastisitas Indeks (Batas atas - Batas bawah)

x_2 = selisih nilai Plastisitas Indeks (Batas bawah - Batas atas)

2.7 Rambatan Getaran

Rambatan getaran adalah gelombang yang bergerak didalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi yang berasal dari beban dinamik seperti gempa bumi dan aktivitas manusia yang menghasilkan getaran tanah salah satu diantaranya ledakan bom. Getaran tanah terjadi pada daerah elastik (*elasticzone*). Didaerah ini tegangan yang diterima material lebih kecil dari kekuatan material sehingga hanya menyebabkan perubahan bentuk dan volume. Sesuai dengan sifat elastis material maka keadaan bentuk dan volume akan kembali seperti semula ketika tidak ada tegangan yang berkerja. Perambatan tegangan pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang getaran.

2.7.1 Faktor Yang Mempengaruhi Rambatan Geteran Tanah

Faktor yang mempengaruhi rambatan getaran tanah adalah sebagai berikut :

1. Modulus Elastisitas Tanah

Besar modulus elastisitas tanah diperoleh dari pengujian *Triaxial* UU.

Modulus elastisitas merupakan rasio antara tegangan dengan regangan.

Semakin besar tekanan sel maka semakin dalam keadaan suatu tanah

menunjukkan kecenderungan tegangan (*stress*) semakin besar sehingga modulus elastisitas tanah tersebut akan semakin besar pula (Braja M. Das, *Soil Dynamic*).

2. Modulus Geser Tanah

Modulus geser tanah adalah rasio antara regangan dan tegangan geser.

2.7.2 Faktor Yang Mempengaruhi Nilai Modulus Geser Tanah

Faktor – faktor mempengaruhi besarnya modulus geser yaitu :

1. Nilai OCR (*Over Consolidation Ration*)

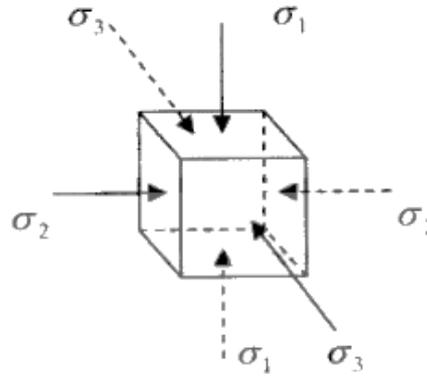
Besarnya nilai OCR diperoleh dari pengujian konsolidasi. OCR adalah keadaan dimana kondisi tanah terkonsolidasi akibat pernah mengalami pembebanan tekanan efektif yang lebih besar dari pada tegangan yang sekarang. Semakin besar nilai OCR suatu tanah mengakibatkan semakin besar pula nilai modulus geser tanah tersebut (Braja M. Das, *Soil Dynamic*).

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 (Braja M. Das, *Soil Dynamic*).

3. Indeks Plastisitas tanah (PI)

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 menjadi kering, seperti lanau.

4. $\sigma_0 = \text{Effective Confining Pressure}$



Gambar 8. *Effective Confining Pressure* (Abdurahman 2005)

Effective Confining Pressure diperoleh dari $\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$

Semakin dalam pengambilan sampel suatu tanah maka akan mengakibatkan semakin besar nilai tekanan vertikal tanah (σ_1), sehingga mengakibatkan semakin besar pula nilai σ_0 yang artinya nilai modulus geser tanah semakin besar (Braja M. Das, *Soil Dynamic*).

5. Koefisien tanah saat diam (K_0)

Besar nilai K_0 tergantung dari besarnya nilai sudut geser dalam tanah (φ). Semakin besar nilai sudut geser tanah maka semakin kecilnya nilai K_0 yang artinya semakin kecil nilai σ_2 dan σ_3 . Dengan semakin kecilnya σ_2 dan σ_3 maka akan menyebabkan juga semakin kecil σ_0 yang artinya nilai modulus geser tanah akan semakin kecil (Braja M. Das, *Soil Dynamic*).

Nilai sudut geser dalam tanah dapat diperoleh dari pengujian Triaksila UU.

6. *Void Ration* (e)

Nilai *Void Ration* (e) diperoleh dari pengujian konsolidasi. Jika *Void Ration* (e) memiliki nilai yang besar maka akan mengakibatkan nilai modulus geser tanah akan semakin kecil (Braja M. Das, *Soil Dynamic*).

7. Sudut geser dalam tanah (\emptyset)

Sudut geser dalam adalah sudut yang terbentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Jika suatu material dikenai tegangan atau gaya yang melebihi tegangan geser nya maka akan membentuk sudut rekahan atau sudut geser dalam. Semakin besar sudut geser dalam suatu material, semakin tahan material tersebut terhadap beban eksternal yang dikenakan padanya. Besar nilai sudut geser dalam juga tergantung dari tingkat kepadatan suatu jenis tanah, yang dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Besar Sudut Geser dalam Tanah (Bowles JE, 1989)

Tingkat Kepadatan	Sudut Geser Dalam (\emptyset)
Sangat Lepas	$< 35^{\circ}$
Lepas	$30^{\circ} - 35^{\circ}$
Agak padat	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Padat	$40^{\circ} - 45^{\circ}$
Sangat Padat	$> 45^{\circ}$

8. Efek Kejenuhan

Kondisi dimana tanah terendam air yang menyebabkan perubahan sifat – sifat mekanik tanah. Hal ini disebabkan karena tanah yang jenuh cenderung memiliki struktur butiran yang longgar dan terlubrikasi oleh air, sehingga menyebabkan geseran antar partikel menjadi lebih mudah. Sebaliknya pada tanah yang kering partikel – partikel akan lebih padat dan memiliki kontak yang lebih erat.

9. Bentuk Butiran

Dengan bentuk butiran tajam atau berlingkung cenderung memiliki hubungan kurang efektif, sehingga dapat mengurangi kemampuan tanah dalam merespon gaya geser.

10. Tegangan vertikal efektif (σ_v)

Merupakan tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban dari tanah yang berasal dari atas dengan memperhitungkan tegangan air pori yang disebabkan oleh air (μ). Tegangan air pori menyebabkan tekanan yang berasal dari beban tanah menjadi berkurang.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Proyek Reklamasi Belawan Phase -1. Proyek tersebut terletak di Belawan, Kec. Medan Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini. Proyek ini merupakan perluasan area terminal peti kemas.



Gambar 9. Lokasi Proeyek (Google Maps, 2023)

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah teknik atau cara untuk mengumpulkan data yang berhubungan dengan judul, adapun metode pengumpulan data yaitu data Primer (sumber langsung) dan data sekunder (tidak langsung).

3.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari lapangan berupa informasi yang berhubungan dengan judul penulis. Data tersebut terdiri dari data SPT *Bore log* dan *Site plane*.

SPT (*Standart Penetrations Test*) merupakan metode uji tanah *in-situ* yang dilaksanakan untuk mengetahui sifat rekayasa tanah dibawah permukaan tanah, terutama untuk tanah tanpa kohesi. Uji SPT dilaksanakan bersamaan dengan proses pengeboran. Data *bore log* merupakan hasil dari penyelidikan lapangan (*soil investigation*) melibatkan proses pengujian bor mesin yang dilakukan para perencana. Selama pengeboran, dilakukan pengamatan secara visual terhadap perlapisan tanah. Pada kedalaman tertentu dilakukan pengambilan contoh tanah (*disturbed sample* dan *undisturbed sample*) dan *standard penetration test* (SPT). Data hasil pengeboran dapat disajikan dalam *field logs* (*bore logs*) yang didalamnya mencakup : identifikasi proyek, nomor *boring*, lokasi, orientasi, tanggal mulai pemboran, tanggal akhir pemboran dan nama operator, elevasi koordinat bagian atas bore hole, klasifikasi/deskripsi tanah (kekerasan, warna derajat pelapukan dan identifikasi lainnya yang berhubungan), deskripsi litologi, kondisi air tanah, pengambilan contoh tanah *in situ test* di *bore hole*, dst.

Site plane adalah konsep gambar atau peta dua dimensi yang memperlihatkan tampak atas suatu lokasi proyek yang direncanakan. Dalam sebuah proyek bangunan membutuhkan *site plane* sebelum melakukan proses pembangunan karena didalamnya terdapat informasi detail terkait rencana bangunan yang akan direalisasikan. Pada penelitian ini *site plane* yang dibutuhkan untuk penyusunan skripsi ini adalah titik – titik pemboran lokasi tanah yang sudah diberi kode pada setiap titik pemboran. Titik pemboran untuk kebutuhan penelitian adalah titik BH.01 dan BH.02.

Tabel 14 dan Tabel 15 dibawah ini merupakan data *bore log* (BH.01 dan BH.02).

Tabel 14. Data *Bore log* (BH.01) pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase* – 1 (Proyek Reklamasi Belawan *Phase* – 1, 2023)

Kedalaman	h (m)	Simbol	Deskripsi	N-SPT	γ (kN/m ³)
00.00 – 02.00	02,00	SC	Pasir Berlempung	1	Pasir
02.00 – 04.50	02,50	CL	Lempung Lunak sedikit Berpasir	1	Lempung
04.50 – 10.00	05,50	CH	Lempung Lunak	2	Lempung
10.00 – 14.50	04,50	CL	Lempung Sedikit Lanau	3	Lempung
14.50 – 18.00	03,50	SM	Pasir Berlanau	2	Pasir
18.00 – 21.50	03,50	CL	Lempung berlanau	3	Lempung
21.50 – 28.00	06,50	CL	Lempung Berpasir	3	Lempung
28.00 – 31.50	03,50	CH	Lempung Lunak	5	Lempung
31.50 – 37.00	05,50	CL	Lempung Berlanau	9	Lempung
37.00 – 44.50	07,50	C	Lempung	11	Lempung
44.50 – 47.00	02,50	CL	Lempung Berlanau	12	Lempung
47.00 – 53.00	06,00	CL	Lempung Berpasir	21	Lempung
53.00 – 56.00	03,00	CL	Lempung Berlanau	17	Lempung
56.00 - 60,50	04,50	CL	Lempung Berlanau	22	Lempung

Tabel 15. Data *Bore log* (BH.02) pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase* – 1 (Proyek Reklamasi Belawan *Phase* – 1, 2023)

kedalaman	h (m)	Simbol	Deskripsi	N-SPT	Jenis Tanah
00.00 – 02.00	02,00	SC	Pasir Berlempung Organik	1,0	Pasir
02.00 – 05.50	03,50	CL	Lempung berpasir sedikit organik	2,0	Lempung
05.50 – 09.50	04,00	CH	Lempung berpasir	3,0	Lempung
09.50 – 17.50	08,00	CL	Lempung Lunak	2,0	Lempung
17.50 – 20.00	02,50	SC	Pasir Berlempung	4,0	Pasir
20.00 – 22.50	02,50	CL	Lempung berlanau	3,0	Lempung
22.50 – 26.50	04,00	CL	Lempung lunak	3,0	Lempung
26.50 – 33.50	07,00	CL	Lempung lunak	9,0	Lempung
33.50 – 36.50	03,00	OH	Lempung organik	10,0	Lempung
36.50 – 41.00	04,50	CL	Lempung lunak	9,0	Lempung
41.00 – 43.50	02,50	CL	Lempung	11,0	Lempung
43.50 – 46.00	02,50	SC	Pasir Berlempung	10,0	Pasir
46.00 – 48.50	02,50	CH	Lempung berpasir	12,0	Lempung
48.50 – 52.00	03,50	SC	Pasir Berlempung	19,0	Pasir
52.00 – 55.00	03,00	CL	Lempung berpasir	17,0	Lempung
55.00 – 60.00	05,00	SC	Pasir Berlempung	22,0	Pasir

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung yaitu berupa jurnal-jurnal penelitian terdahulu, review dan studi kepustakaan dan buku- buku yang berkaitan dengan judul penelitian ini.

3.3 Metode Analisis

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 & Black

Hal yang dilakukan untuk perhitungan adalah :

- a. Menghitung tegangan tanah (γ)
- b. Menghitung tegangan vertikal efektif (σ_v)
- c. Menghitung indeks plastis tanah (PI)
- d. Menghitung koefisien tekanan tanah dalam keadaan *rest* (K_0)
- e. Menjumlahkan tegangan efektif octadreal ($\bar{\sigma}_0$)
- f. Menyesuaikan nilai indeks plastisitas tanah terhadap tabel untuk mendapatkan nilai suatu konstanta (K)
- g. Maka dapat diperoleh *share modulus maximum* (G_{max})

3.4 Tahapan 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.

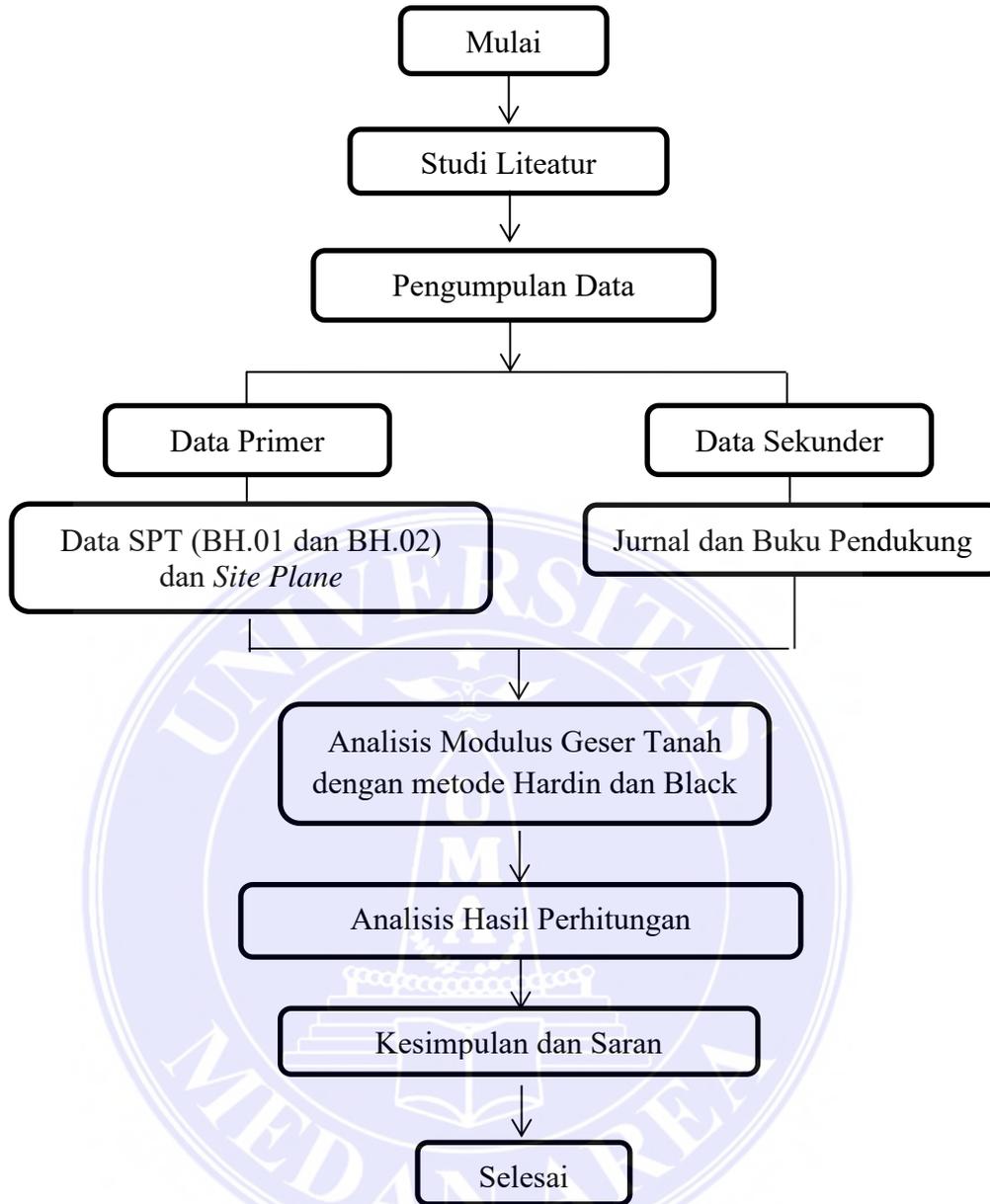
- a. Tahapan pertama adalah melakukan review dan study kepustakaan, mencari jurnal-jurnal penelitian terdahulu dan buku yang berkaitan dengan

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* (BH.01 dan BH.02)
- 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.

3.5 Diagram 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 10 berikut :



Gambar 10. Diagram Alir

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan diatas, diperoleh kesimpulan :

1. Pada BH.01 lapisan tanah terakhir kedalaman 60,5 m nilai modulus geser $/G_{max} = 163.745,1052 \text{ kN/m}^2$, sedangkan pada BH.02 lapisan tanah terakhir kedalaman 60,5 m nilai modulus geser $/G_{max} = 89.528,176 \text{ kN/m}^2$.
2. Semakin tinggi tegangan tanah vertikal efektif maka modulus geser tanah semakin besar dan semakin tinggi tegangan tanah *octahedral* maka modulus geser tanah semakin besar.

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 Stated Of America*.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2022). “Teknik Pondasi 1”. Yogyakarta : Betta 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

pada Bangunan Di Kawasan Gempa. *Journal of The Civil Engineering Student*, 2(1), 22-28.

Menard, L. (1965). "Rules For Calculation Of Bearing Capacity and Foundation Sattlement Based Of Pressure Meter Test". *Proceeding 6th International Conference Of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Montreal, Canada, Vol 2, 295-299.

Nugroho; Siti Khomariah. (2005), "Studi Eksperimental di Laboratorium Tentang Nilai Modulus Geser Berdasarkan Rumus Hardin dan Black serta Menard". Tugas akhir mahasiwa, jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan UII.

Okny Abdurahman Saleh. P. (2005), "Nilai Modulus Geser Tanah dari hasil uji laboratorium berdasarkan rumus Hardin & Black, Menard, Hardin & Richard serta Hardin & Drenevic".

Rudianto Surbakti, (2021) "Analisis Penurunan Tanah dengan Plaxis 2D dan 3D pada Proyek Reklamasi Belawan".

Tika Ermita Wulandari (2021) "Pengaruh Kehalusan *Mesh* Plaxis 2D dan 3D terhada Predikasi Penurunan Konsolidasi pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*".

Tulus Kurniawan (2023), "Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Bore Log pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*".

LAMPIRAN

