

**ANALISIS MODULUS GESER TANAH BERDASARKAN SPT
PADA PROYEK PEMBANGUNAN PABRIK KERTAS DI
TANJUNG MORAWA**

SKRIPSI

OLEH:

**EMMANUEL JORDAN SIMANJORANG
228110065**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

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 27/7/26

Access From (repository.uma.ac.id)27/7/26

ANALISIS MODULUS GESER TANAH BERDASARKAN SPT PADA PROYEK PEMBANGUNAN PABRIK KERTAS DI TANJUNG MORAWA

SKRIPSI

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



Oleh:

**EMMANUEL JORDAN SIMANJORANG
228110065**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Modulus Geser Tanah Berdasarkan Standart Penetration Test Pada Proyek Pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa
Nama : Emmanuel Jordan Simanjorang
NPM : 228110065
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


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



Dr. Eriy Supriatno, S.T., M.T.
Dekan



Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T.
Koordinator Studi

Tanggal Lulus : 10 Maret 2026

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, 10 Maret 2026


Emmanuel Jordan Simanjorang
228110065

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Emmanuel Jordan Simanjorang
NPM : 228110065
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Modulus Geser Tanah Berdasarkan Standart Penetration Test Pada Proyek Pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif 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 : 10 Maret 2026
Yang menyatakan



(Emmanuel Jordan Simanjorang)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Mardinding Pada tanggal 31 Oktober 2003 dari Ayah Andreas Simanjorang dan Ibu Mastaria Sitanggang Penulis merupakan putra ke 3 dari 4 bersudara. Tahun 2022 Penulis lulus dari SMA Sw.Van Duynhoven Saribudolok dan pada tahun 2022 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Rumah Sakit Umum Eshmun Stabat



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 Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Metode Analitik dan Empiris Pada Proyek Pabrik Kertas di Tanjung Morawa. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Skripsi ini dapat penulis selesaikan berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan selaku Pembimbing Skripsi yang bukan hanya membimbing akademik, tetapi juga menjadi pengarah, penyemangat, dan motivator yang luar biasa.
2. Seluruh Dosen dan Staf Fakultas Teknik Universitas Medan Area, khususnya Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan bimbingan, ilmu pengetahuan, serta wawasan yang luas pada penulis selama proses perkuliahan.
3. Teristimewa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada orang tua tercinta, Ayah Andreas Simanjorang dan Ibu Mastaria Sitanggang. Penulis memahami dan merasakan bahwa cinta dan dukungan yang kalian berikan selama ini hadir dalam bentuk yang berbeda, mungkin tidak dengan ucapan tetapi tindakan dan keberadaan kalian adalah bukti kasih sayang yang tak terhingga. Setiap langkah dan pencapaian yang penulis raih, termasuk selesainya skripsi ini, adalah bagian dari doa dan harapan kalian. Terima kasih atas pengorbanan, dukungan dan kebahagiaan yang telah kalian berikan.
4. Teruntuk Abang, kakak dan Adikku tersayang, Ivan Simanjorang, Nirwana Simanjorang dan Debby Simanjorang. Beribu ucapan terima kasih penulis sampaikan atas semua kasih sayang dan dukungan. Semoga setiap rupiah yang kalian keluarkan untuk penulis semoga nantinya dilipatgandakan.
5. Kepada pemilik NPM 228110023 Penulis mengucapkan terima kasih untuk setiap dukungan, waktu, tenaga, serta sudah setia menemani dan membersamai penulis sedari awal hingga akhir perkuliahan. Terima kasih sudah menjadi pendengar, pemberi masukan, serta partner yang baik selama 3 tahun belakang, semoga kita berdua dapat meraih kesuksesan di kemudian hari.

Penulis



(Emmanuel Jordan Simanjorang)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 27/7/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber **vii**

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)27/7/26

ABSTRAK

Pergeseran tanah merupakan salah satu respons deformasi tanah akibat pembebanan. Fenomena ini terjadi ketika gaya luar yang bekerja pada tanah melebihi kapasitas geser internalnya, sehingga partikel tanah mengalami pergerakan relatif. Pergeseran tanah sangat penting dalam analisis stabilitas lereng, pondasi, dan struktur bawah tanah karena dapat menyebabkan penurunan daya dukung dan bahkan keruntuhan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apa saja yang mempengaruhi nilai modulus geser tanah dan apa pengaruh nilai modulus geser tanah tersebut terhadap struktur bangunan. Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa dengan memanfaatkan data hasil penyelidikan tanah berupa nilai N-SPT. Untuk menganalisis modulus geser tanah ini penulis menentukan maksimum *share modulus* (G_{max}) berdasarkan data *bore log* dengan menggunakan metode empiris Hardin dan Black. Berdasarkan hasil yang didapatkan untuk *bore log* 1 pada lapisan tanah pertama diperoleh $G_{max} = 721,292 \text{ kN/m}^2$ hingga lapisan akhir $G_{max} = 15688,435 \text{ kN/m}^2$ dan *bore log* 2 pada lapisan tanah pertama diperoleh $G_{max} = 1606,555 \text{ kN/m}^2$ hingga lapisan akhir diperoleh $G_{max} = 4471,735 \text{ kN/m}^2$. Sehingga dapat disimpulkan semakin dalam lapisan tanah nilai G_{max} juga meningkat seiring kedalamannya. Nilai modulus geser yang tinggi menandakan bahwa tanah memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan deformasi geser akibat beban yang diterima.

Kata kunci: Modulus geser tanah, *Standard Penetration Test* (SPT), Metode Hardin dan Black.

ABSTRACT

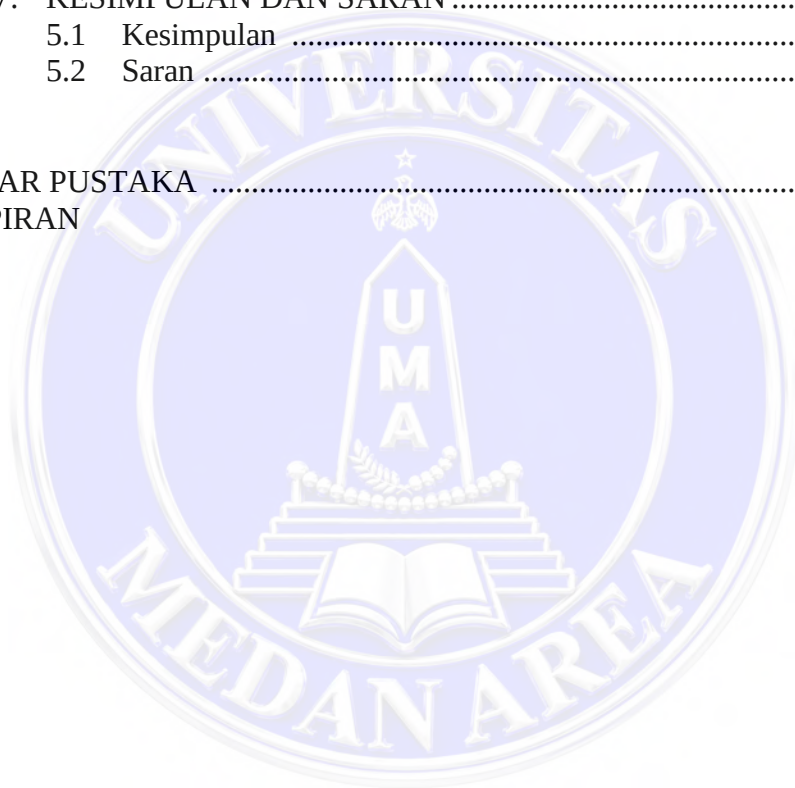
Land displacement is one of the soil deformation responses due to loading. This phenomenon occurs when the external force acting on the soil exceeds its internal shear capacity, causing the soil particles to experience relative movement. Land displacement is very important in the analysis of slope stability, foundations, and underground structures because it can cause a decrease in bearing capacity and even structural collapse. This study aims to determine what influences the value of the soil shear modulus and what effect the value of the soil shear modulus has on building structures. This study was conducted on the Paper Mill Construction Project in Tanjung Morawa by utilizing soil investigation data in the form of N-SPT values. To analyze the soil shear modulus, the author determined the maximum share modulus (G_{max}) based on bore log data using the empirical method of Hardin and Black. Based on the results obtained for bore log 1 on the first soil layer, $G_{max} = 721.292 \text{ kN/m}^2$ was obtained until the final layer $G_{max} = 15688.435 \text{ kN/m}^2$ and bore log 2 on the first soil layer was obtained $G_{max} = 1606.555 \text{ kN/m}^2$ until the final layer was obtained $G_{max} = 4471.735 \text{ kN/m}^2$. So it can be concluded that the deeper the soil layer, the g_{max} value also increases with depth. A high shear modulus value indicates that the soil has a better ability to withstand shear deformation due to the load received..

Keywords: Soil shear modulus, Standard Penetration Test (SPT), Hardin and Black Method

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
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
 BAB I. PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Maksud Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Pengertian Tanah	8
2.2.1 USCS (<i>Unified Soil Classification System</i>)	9
2.2.2 AASHTO (<i>American Association of State Highway and Transportation Officials Classification</i>).....	13
2.3 Penyelidikan Tanah	16
2.3.1 SPT (<i>Standart Penetration Test</i>)	17
2.3.2 Uji Lab Tanah	23
2.4 Modulus Geser Tanah	24
2.4.1 Hitungan Modulus Geser Maksimum (Gmax).....	27
2.4.2 Tegangan Tanah	28
2.4.3 Metode Empiris Dengan Rumus Hardin Dan Black	30
2.4.4 Sudut Geser Tanah	33
2.5 Korelasi NSPT Terhadap Gmax.....	33
2.5.1 Grafik Regresi Linear	34
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	 36
3.1 Lokasi Penelitian	36
3.2 Kondisi Tanah Eksisting	36
3.3 Metode Pengumpulan Data	37
3.3.1 Data Primer	38

3.3.2 Data Sekunder	38
3.4 Tahapan Penelitian	38
3.5 Kerangka Berpikir	40
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Tegangan Efektif Tanah	42
4.2 Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v')	44
4.2.1 Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah (PI).....	46
4.2.2 Perhitugan Koefisien Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam (K_0).....	48
4.3 Perhitungan Tegangan Tanah Octahedral (σ_o).....	49
4.4 Perhitungan Suatu Konstanta (K).....	52
4.5 Perhitungan Modulus Geser Maksimum Tanah (G_{max})	53
4.6 Pembahasan	55
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	xiv
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Simbol Klasifikasi Tanah USCS.....	10
Tabel 2. Tanah Berbutir Kasar (<i>Course Grained Soils</i>)	10
Tabel 3. Tanah Berbutir Halus (<i>Fine Grained Soils</i>)	11
Tabel 4. Klasifikasi AASHTO	15
Tabel 5. Nilai Representatif dari Modulus Geser (G)	26
Tabel 6. Nilai <i>Poisson Ratio</i> (i)	26
Tabel 7. Modulus Tegangan-Regangan (E)	27
Tabel 8. Nilai Korelasi Parameter Tanah dengan N-SPT untuk jenis tanah pasir (<i>Sand</i>) dan lempung (<i>Clay</i>).....	29
Tabel 9. Hubungan antara Plastisitas Indeks dengan nilai k.....	32
Tabel 10. Hubungan N-SPT dan Sudut Geser	33
Tabel 11. Nilai <i>Standard Penetration Test</i> BH-1.....	37
Tabel 12. Nilai <i>Standard Penetration Test</i> BH-2.....	37
Tabel 13. Hasil Perhitungan Interpolasi Berat isi Tanah (BH-1).....	43
Tabel 14. Hasil Perhitungan Interpolasi Berat isi Tanah (BH-2).....	43
Tabel 15. Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (BH-1).....	45
Tabel 16. Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (BH-2)	46
Tabel 17. Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah (BH-1).....	47
Tabel 18. Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas Tanah (BH-2).....	47
Tabel 19. Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam (BH-1).....	48
Tabel 20. Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam (BH-2).....	49
Tabel 21. Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Octahedral (BH-1).....	51
Tabel 22. Hasil Perhitungan Tegangan Tanah Octahedral (BH-2)	51
Tabel 23. Hasil Perhitungan Suatu Konstanta (K) (BH-1)	52
Tabel 24. Hasil Perhitungan Suatu Konstanta (K) (BH-2)	53
Tabel 25. Hasil Perhitungan Modulus Geser Maximum Tanah (BH-1)	54
Tabel 26. Hasil Perhitungan Modulus Geser Maximum Tanah (BH-2)	55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Hubungan antara G/G_{max} lawan regangan geser	26
Gambar 2. Grafik Regresi Linear	35
Gambar 3. Lokasi penelitian	36
Gambar 4. Bagan Alir Penelitian	41
Gambar 5. Grafik Tegangan Vertikal Efektif setiap kedalaman (BH-1)	56
Gambar 6. Grafik Tegangan Tanah Octahedral setiap kedalaman (BH-1)....	57
Gambar 7. Grafik Modulus Geser Tanah (G_{max}) setiap kedalaman (BH-1)	58
Gambar 8. Grafik Hubungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v') dengan Modulus Geser Tanah (G_{max})	59
Gambar 9. Grafik Tegangan Vertikal Efektif setiap kedalaman (BH-2)	60
Gambar 10. Grafik Tegangan Tanah Octahedral setiap kedalaman (BH-2)....	61
Gambar 11. Grafik Modulus Geser Tanah (G_{max}) setiap kedalaman (BH-2)	62
Gambar 12. Grafik Hubungan Tegangan Tanah Vertikal Efektif (σ_v') dengan Modulus Geser Tanah (G_{max}).....	63



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah sebagai media pendukung struktur memiliki sifat fisik dan mekanik yang sangat kompleks. Salah satu sifat mekanik yang penting untuk diperhatikan adalah kemampuan tanah dalam menahan gaya geser. Ketika gaya luar bekerja pada massa tanah, maka akan terjadi pergeseran partikel-partikel di dalamnya, yang dapat memicu deformasi atau bahkan keruntuhan. Pergeseran tanah tidak hanya berkaitan dengan kekuatan geser, tetapi juga mencerminkan respon tanah terhadap perubahan tegangan dan regangan yang terjadi, baik akibat beban bangunan, lalu lintas, maupun aktivitas seismik. Oleh karena itu, memahami karakteristik pergeseran tanah sangat penting. Dengan analisis yang tepat, potensi kerusakan akibat pergeseran tanah dapat diminimalkan demi menjamin keamanan dan keberlanjutan suatu struktur (Junaedi, 2021).

Pergeseran tanah merupakan salah satu respons deformasi tanah akibat pembebanan. Fenomena ini terjadi ketika gaya luar yang bekerja pada tanah melebihi kapasitas geser internalnya, sehingga partikel tanah mengalami pergerakan relatif. Pergeseran tanah sangat penting dalam analisis stabilitas lereng, pondasi, dan struktur bawah tanah karena dapat menyebabkan penurunan daya dukung dan bahkan keruntuhan struktur. Karakteristik pergeseran tanah sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, kadar air, kerapatan, serta tegangan efektif yang bekerja (Fatihah, 2024) .

Dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan pabrik kertas, kondisi tanah memegang peranan penting terhadap keamanan dan kinerja struktur, terutama karena bangunan industri umumnya menerima beban besar serta bekerja secara

berkelanjutan. Salah satu parameter penting dalam analisis perilaku tanah adalah modulus geser tanah, yang berpengaruh langsung terhadap respon deformasi, getaran, dan stabilitas struktur. Namun, pada banyak proyek konstruksi, data modulus geser tanah sering kali tidak tersedia secara langsung karena keterbatasan waktu dan biaya. Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis modulus geser tanah berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) penting untuk menyediakan parameter tanah yang lebih representatif, praktis, dan sesuai kondisi lapangan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu meningkatkan ketepatan perencanaan geoteknik serta meminimalkan risiko kegagalan struktur pada pembangunan pabrik kertas (Musawwir, 2025).

Pada penelitian khususnya modulus geser tanah, telah banyak dilakukan dengan berbagai metode pengujian baik di laboratorium maupun di lapangan. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya umumnya menggunakan data uji seperti *seismic test* yang memerlukan biaya relatif tinggi dan tidak selalu tersedia pada proyek konstruksi. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif pendekatan yang lebih praktis dan ekonomis, dalam perencanaan geoteknik, khususnya pada proyek industri berskala besar seperti pembangunan pabrik kertas (Al Ahmad dkk, 2025).

Dalam perencanaan geoteknik, parameter modulus geser sering kali tidak tersedia secara langsung akibat keterbatasan pengujian dinamis di lapangan. Kondisi ini menimbulkan kekhawatiran terhadap kestabilan struktur, baik selama proses konstruksi maupun setelah bangunan difungsikan. Pergeseran tanah yang tidak terdeteksi atau tidak ditangani dengan tepat dapat menyebabkan deformasi, penurunan diferensial, bahkan kerusakan struktural yang membahayakan

keselamatan pengguna bangunan. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan analisis modulus geser tanah berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) guna memahami sejauh mana kemampuan tanah dalam menahan gaya geser.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas maka diperoleh rumusan masalah yaitu apa pengaruh dari nilai modulus geser tanah bagi struktur bangunan dan apa saja yang mempengaruhi nilai modulus geser tanah tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui apa saja yang mempengaruhi nilai modulus geser tanah dan apa pengaruh nilai modulus geser tanah tersebut terhadap struktur bangunan.

1.4 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai modulus geser tanah dengan menggunakan rumus empiris dari Hardin dan Black. Analisis ini dilakukan berdasarkan data uji Standar Penetrasi Tanah (SPT) yang diperoleh dari lokasi Proyek Pembangunan Pabrik Kertas di Tanjung Morawa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kekakuan tanah di lokasi tersebut sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi tanah sebagai dasar dalam perencanaan dan perancangan struktur yang akan dibangun.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah yaitu menganalisa modulus geser tanah menggunakan metode empiris dengan rumus Hardin & Black dan data yang diambil berupa data SPT dan data laboratorium.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini dibuat yaitu :

1. Bagi penulis, penelitian ini berfungsi sebagai bahan untuk penulisan tugas akhir.

Hal tersebut merupakan prasyarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Medan Area, sehingga mampu menerapkan ilmu yang didapat semasa pendidikan perkuliahan dan pengetahuan baru di bidang geoteknik.

2. Bagi pembaca dan akademisi, penelitian ini digunakan untuk informasi tambahan penelitian kedepannya tentang modulus geser tanah.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu referensi penting yang digunakan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian, karena dapat membantu memperkaya landasan teori, menambah wawasan, serta memberikan gambaran mengenai metode dan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Melalui kajian terhadap penelitian terdahulu, penulis dapat memahami perkembangan keilmuan yang berkaitan dengan topik yang diteliti serta menghindari pengulangan penelitian yang sama. Dalam pelaksanaan penelitian ini, penulis tidak menemukan penelitian yang memiliki kesamaan secara langsung dengan judul yang diangkat. Oleh karena itu, penulis hanya dapat menggunakan penelitian terdahulu yang memiliki kemiripan atau keterkaitan dengan topik penelitian sebagai bahan referensi maupun sebagai dasar perbandingan, sehingga hasil penelitian yang dilakukan tetap memiliki relevansi dan nilai ilmiah.

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

1. Panjami dkk (2016), yang berjudul *Selection of Shear Modulus Correlation for SPT N-values Based on Site Response Studies*. bertujuan untuk mengidentifikasi korelasi modulus geser maksimum (G_{max}) yang paling sesuai berdasarkan nilai SPT N untuk berbagai jenis tanah (pasir, lempung, dan kerikil) dalam analisis respons situs (site response). Penelitian ini dilatarbelakangi oleh belum adanya pedoman yang jelas dalam memilih korelasi G_{max} –SPT untuk tipe

kolom tanah tertentu. Metode yang digunakan adalah evaluasi beberapa persamaan korelasi empiris yang umum digunakan dalam studi mikrozonning gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas korelasi sangat bergantung pada jenis tanah dan kondisi stratigrafi, sehingga penggunaan satu persamaan umum untuk semua kondisi tanah tidak disarankan. Kesimpulannya, pemilihan korelasi G_{max} berbasis SPT harus mempertimbangkan karakteristik tanah setempat agar estimasi kekakuan geser lebih representatif dalam analisis dinamik tanah.

2. Sagala dkk (2025), pada penelitiannya Analisis Nilai Modulus Geser Maksimum Tanah Lempung Berdasarkan Data *Standard Penetration Test* (SPT) di Mandailing Natal bertujuan untuk memperkirakan nilai modulus geser maksimum (G_{max}) tanah lempung secara tidak langsung menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) di wilayah Mandailing Natal yang memiliki potensi kegempaan tinggi. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui korelasi empiris antara nilai NSPT, tegangan efektif, tegangan oktahedral, dan angka pori. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai G_{max} cenderung meningkat seiring bertambahnya kedalaman, dengan nilai maksimum sekitar 55.410,38 kPa pada kedalaman 6–8 m, meskipun terdapat penurunan pada lapisan tertentu yang mengindikasikan keberadaan tanah lebih lunak atau jenuh. Kesimpulannya, data SPT dapat digunakan secara efektif sebagai alternatif ekonomis untuk estimasi G_{max} tanah lempung jenuh dalam perencanaan geoteknik, khususnya

di daerah rawan gempa.

3. Iskandar dkk, (2025), pada penelitiannya yang berjudul *SPT Effective Shear Parameter Correlation for Soft Clay in Jakarta Using Big Data* bertujuan mengembangkan model praktis untuk mengestimasi parameter geser efektif tanah lempung lunak menggunakan data SPT serta data indeks tanah. Penelitian difokuskan pada tanah lempung sangat lunak (SPT 0–2) dan lunak (SPT 2–4) di Jakarta dengan pendekatan regresi linier antara tegangan efektif rata-rata dan tegangan deviatif. Hasil menunjukkan bahwa model regresi tersebut mampu merepresentasikan perilaku tanah dengan baik untuk kedua kelompok konsistensi. Kesimpulannya, pendekatan berbasis data SPT dan properti indeks dapat menjadi alternatif praktis ketika data uji triaxial atau sampel tak terganggu tidak tersedia dalam desain geoteknik.
4. Panjamani dkk (2024) yang berjudul *Selection of Shear Modulus Correlation for SPT N Values based on Site Response Studies* menggunakan data lapangan berupa nilai *Standard Penetration Test* (SPT-N) dan *shear wave velocity* (V_s) dari transformasi seismik nyata di Jepang, untuk menganalisis parameter respon dinamis tanah berpasir dan granular. Dengan menerapkan berbagai korelasi empiris SPT-N pada G_{max} terhadap kondisi lapangan. Hasil menunjukkan bahwa hanya beberapa korelasi tertentu yang mampu mereplikasi respons permukaan, maka dilakukan analisis geoteknik berbasis SPT. Kesimpulannya, korelasi G_{max} yang telah dievaluasi secara langsung melalui data lapangan (SPT + V_s) dapat digunakan.

5. Shukla dkk, (2016) dengan judul *Estimation of Shear Wave Velocity from SPT N-value – Field Assessments*, penelitian ini bertujuan mengevaluasi hubungan empiris antara nilai pukulan *Standard Penetration Test* (SPT-N) dan kecepatan gelombang geser berdasarkan data lapangan dari beberapa lokasi proyek. Karena modulus geser maksimum (G_{max}) secara langsung berkaitan dengan gelombang geser, studi ini sangat relevan untuk estimasi modulus geser tanah ketika data geofisika tidak tersedia. Hasil menunjukkan bahwa akurasi persamaan sangat bergantung pada kondisi geologi dan jenis tanah setempat, serta tidak semua korelasi internasional cocok diterapkan pada lokasi berbeda tanpa kalibrasi. Kesimpulannya, estimasi G_{max} berbasis SPT dapat dilakukan secara praktis melalui korelasi gelombang geser dengan SPT, namun pemilihan persamaan harus mempertimbangkan karakteristik lokal agar hasil lebih representatif dalam analisis respons dinamik tanah.

2.2 Pengertian Tanah

Tanah merupakan kumpulan butiran mineral alami yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan secara fisik, kimia, maupun biologis, sehingga membentuk agregat-agregat yang relatif lepas. Butiran-butiran tersebut tidak terikat secara permanen dan masih memiliki ruang antar partikel (pori) yang dapat terisi oleh air dan udara. Oleh karena itu, agregat tanah dapat dipisahkan kembali menjadi partikel-partikel penyusunnya melalui cara mekanis sederhana, misalnya dengan pengadukan di dalam air atau pemberian energi mekanik tertentu. Sifat inilah yang menyebabkan tanah bersifat lebih lunak, mudah berubah bentuk, serta memiliki

perilaku mekanik yang sangat dipengaruhi oleh kadar air dan kondisi tegangan. Sebaliknya, batuan merupakan agregat mineral yang butiran-butirannya saling terikat oleh gaya kohesif yang kuat dan bersifat permanen akibat proses geologi seperti pemadatan, sementasi, dan kristalisasi. Ikatan antar mineral pada batuan membuat strukturnya menjadi kompak, keras, dan stabil, sehingga tidak dapat dipisahkan kembali hanya dengan cara mekanis sederhana, melainkan memerlukan energi yang jauh lebih besar seperti pemecahan atau pelapukan lanjut.

Akan tetapi, di kalangan Insinyur Geologi, istilah “batuan” digunakan untuk menyebut seluruh materi penyusun kerak bumi tanpa membedakan tingkat keterikatan antar partikel-partikel mineralnya, baik yang berbentuk batuan keras, tanah lepas, maupun yang berasosiasi dengan air. Sementara itu, para ahli geologi mendefinisikan “tanah” secara lebih sempit, yaitu sebagai bagian paling atas dari kerak bumi yang berfungsi sebagai lapisan penopang kehidupan tumbuhan, sedangkan menurut ahli pertanian, tanah dipahami sebagai medium alam tempat tumbuh dan berkembangnya tanaman, yang tersusun atas kombinasi bahan padat, gas, dan cair yang saling berinteraksi untuk menunjang proses pertumbuhan.

2.2.1 USCS (*Unified Soil Classification System*)

USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan suatu sistem klasifikasi tanah yang pertama kali disarankan oleh A. Casagrande pada tahun 1942, kemudian dikembangkan dan diperbarui oleh *The Corps of Engineers* serta *The United States Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Sistem klasifikasi ini digunakan secara luas dalam bidang geoteknik untuk mengelompokkan tanah berdasarkan karakteristik fisik dan sifat butirannya. Dalam USCS, tanah dibedakan menjadi dua tipe utama, yaitu tanah berbutir besar dan tanah berbutir halus, di mana

tanah berbutir besar terdiri dari kerikil dan pasir. Pada Tabel 1, huruf awal menunjukkan jenis tanah tersebut.

Tabel 1. Simbol Klasifikasi Tanah USCS (Bowless, 1991)

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

Sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) banyak digunakan dalam bidang teknik sipil karena metode ini mengelompokkan tanah berdasarkan sifat fisik dan ukuran butir tanah secara sistematis, sehingga sangat membantu dalam mengidentifikasi karakteristik tanah yang relevan sebagai dasar perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi. Selain itu, sistem ini juga memudahkan dalam memahami perilaku tanah terhadap beban serta kondisi lingkungan yang mempengaruhinya. Dalam sistem USCS, tanah dibagi ke dalam 15 kelompok yang berbeda, dan masing-masing kelompok tersebut memiliki ciri khas serta perilaku teknik yang spesifik sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan jenis pondasi, stabilitas tanah, serta metode perbaikan tanah yang sesuai pada suatu proyek konstruksi. Namun, secara garis besar, pengelompokan ini terbagi menjadi tiga kategori utama yang mencakup berbagai jenis tanah berdasarkan ukuran butir dan perilaku mekanisnya, di mana masing-masing kategori memiliki karakteristik fisik dan sifat mekanis yang berbeda, yaitu:

Tabel 2. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse Grained Soils*) (Bowless, 1991)

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

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

Pada tabel 2. 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*) (Bowless, 1991)

	Simbol	Deskripsi
		<i>50% or more of materials is smaller than No. 200 sieve size</i>
<i>SILTS & CLAYS</i> (Lanau & Lempung)	ML	<i>Inorganic silts and very fine sands, rock flour, clayey finesands 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 & CLAYS</i> (Lanau & Lempung)	MH	<i>Silts that are inorganic, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, and elastic silts</i>
	CH	<i>High plasticity inorganic clays, fat clays</i>
	OH	<i>Organic clays with medium to high plasticity, as well as organic silts</i>

Jenis tanah *highly organic soils* diklasifikasikan ke dalam satu kelompok tersendiri, di mana tanah organik ini umumnya memiliki sifat mudah ditekan, bertekstur berlumpur, dan berada dalam kondisi lembab, serta pada umumnya

tersusun dari komponen berupa sisa-sisa daun yang telah berguguran, ranting, akar, maupun berbagai bahan organik lainnya yang mengalami proses pelapukan.

Berdasarkan jenis-jenis tanah di atas, jenis tanah yang memiliki potensi likuefaksi 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 tersusun atas tiga komponen utama, yaitu bahan padat, air, dan udara, yang masing-masing memiliki peranan penting dalam menentukan sifat fisik dan mekanik tanah. Bahan padat terdiri dari butiran mineral dan bahan organik yang membentuk kerangka tanah, sedangkan air dan udara mengisi rongga-rongga atau pori di antara butiran tersebut. Keberadaan air sangat mempengaruhi perilaku tanah, karena perubahan kadar air dapat mengubah kekuatan, daya dukung, dan tingkat deformasi tanah. Apabila seluruh rongga tanah terisi oleh air tanpa adanya udara, maka tanah tersebut dikatakan berada dalam kondisi jenuh. Kondisi tanah jenuh ini perlu mendapat perhatian khusus dalam perencanaan geoteknik, karena dapat menurunkan kekuatan geser tanah secara signifikan. Tanah yang berada dalam keadaan jenuh, terutama tanah berbutir halus hingga berpasir lepas, sangat berbahaya bagi bangunan yang berdiri di atasnya, sebab kondisi tersebut merupakan salah satu parameter utama yang dapat memicu terjadinya likuefaksi. Likuefaksi menyebabkan tanah kehilangan kekuatan dan kekakuannya secara tiba-tiba ketika menerima beban dinamis, seperti gempa bumi, sehingga berpotensi mengakibatkan penurunan, kemiringan, bahkan kegagalan struktur bangunan.

Salah satu penyebab tanah menjadi jenuh adalah intensitas curah hujan yang tinggi dan terjadinya getaran secara terus menerus yang cepat. Komponen air akan masuk ke dalam 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. Pada fase ini, perencana harus dapat mengidentifikasi jenis tanah dengan tepat sehingga nantinya akan diketahui seberapa banyak tanah yang harus ditimbun.

2.2.2 AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*)

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) adalah organisasi di Amerika Serikat yang menetapkan standar teknis untuk perencanaan, desain, konstruksi, dan pemeliharaan infrastruktur. Salah satu peran penting AASHTO adalah menyediakan sistem klasifikasi tanah yang dikenal sebagai klasifikasi tanah AASHTO, yang digunakan untuk menentukan kelayakan tanah sebagai material konstruksi jalan berdasarkan sifat fisik seperti ukuran butir dan plastisitas.

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Terzaghi, yang akhirnya diambil oleh *Bureau Of Public Roads*. Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis ukuran butiran, pengujian batas cair dan batas palstis.

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena

sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1. Ukuran butir tanah dibedakan berdasarkan hasil pengayakan yang mengacu pada standar tertentu, di mana kerikil didefinisikan sebagai bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 inci) dan tertahan pada ayakan No. 10 dengan ukuran 2 mm. Selanjutnya, pasir merupakan bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 berukuran 2 mm dan tertahan pada ayakan No. 200 dengan ukuran 0,075 mm. Sementara itu, lanau dan lempung diklasifikasikan sebagai bagian tanah yang lolos ayakan No. 200, yang menunjukkan bahwa ukuran butirnya sangat halus dibandingkan dengan kerikil dan pasir.
2. Plastisitas digunakan sebagai dasar penamaan tanah berbutir halus, di mana istilah berlanau dipakai apabila bagian-bagian halus dari tanah tersebut memiliki nilai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Sebaliknya, istilah berlempung digunakan apabila bagian-bagian halus dari tanah mempunyai nilai indeks plastis 11 atau lebih, yang menunjukkan tingkat plastisitas yang lebih tinggi serta menggambarkan

perbedaan sifat mekanis dan perilaku tanah dibandingkan dengan tanah berlanau, terutama dalam hal kemampuan deformasi dan respons terhadap perubahan kadar air.

3. Apabila dalam contoh tanah yang akan digunakan untuk penentuan klasifikasi tanah ditemukan adanya batuan dengan ukuran lebih besar dari 75 mm, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu dari sampel agar proses klasifikasi dapat dilakukan dengan benar dan hasil pengujian lebih representatif terhadap fraksi tanah yang dianalisis. Meskipun demikian, persentase batuan yang dikeluarkan tersebut tetap harus dicatat dan didokumentasikan dengan baik, karena informasi tersebut penting untuk memberikan gambaran kondisi tanah asli di lapangan serta dapat menjadi bahan pertimbangan dalam analisis dan perencanaan pekerjaan geoteknik.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji laboratorium dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam tabel klasifikasi dengan cara membandingkan nilai-nilai parameter tanah tersebut secara bertahap dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai, sehingga tanah dapat dimasukkan ke dalam kelompok klasifikasi yang tepat berdasarkan karakteristik dan sifat fisik tanah tersebut.

Tabel 4. Klasifikasi AASHTO (AASHTO,1978)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)	Tanah lanau - lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)
	A-1	A-2
		A-7

Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5* A-7-6**
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	Maks 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)	---		---	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

2.3 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mengetahui kondisi, sifat, dan karakteristik tanah pada lokasi proyek sebelum kegiatan pembangunan dilaksanakan. Tujuan utama dari penyelidikan tanah adalah untuk memastikan bahwa tanah di lokasi tersebut memiliki kemampuan yang memadai dalam menopang bangunan diatas selama umur bangunan yang direncanakan. Proses penyelidikan ini melibatkan serangkaian kegiatan yang sistematis, mulai dari pengamatan kondisi lapangan secara langsung, pengeboran tanah pada kedalaman tertentu, hingga pengambilan sampel tanah baik sampel terganggu maupun tidak terganggu. Selanjutnya, sampel tanah tersebut diuji di

laboratorium untuk menentukan berbagai sifat fisik dan mekanik tanah, seperti kepadatan, kadar air, kekuatan geser, konsistensi, serta daya dukung tanah. Hasil dari penyelidikan tanah ini sangat penting sebagai dasar dalam perencanaan dan perancangan pondasi, sehingga risiko kegagalan struktur akibat kondisi tanah yang tidak sesuai dapat diminimalkan.

Hasil dari penyelidikan tanah memiliki peranan yang sangat penting bagi perencana struktur dan geoteknik karena digunakan sebagai dasar utama dalam menentukan jenis fondasi yang paling sesuai, kedalaman fondasi yang aman, serta dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi risiko geoteknik seperti penurunan tanah, pergeseran, atau kemungkinan terjadinya longsor. Dengan dilakukannya penyelidikan tanah yang baik, menyeluruh, dan akurat, risiko terjadinya kegagalan struktur dapat diminimalkan secara signifikan, sekaligus memungkinkan perencanaan biaya pembangunan yang lebih efisien dan optimal baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

2.3.1 SPT (*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.

1. Adapun alat yang digunakan dalam uji ini yaitu:
 - 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).
2. Prosedur Pelaksanaan *Standart Penetration Test* (SPT)

Prosedur SPT dilakukan pada saat pengujian di lapangan sebagai berikut:

- a. Persiapan lokasi merupakan tahap awal dalam pelaksanaan pengujian, di mana uji dilakukan dengan menggunakan rig bore untuk menurunkan tabung *split spoon* ke dalam lapisan tanah yang akan diuji. Lokasi pengujian umumnya ditentukan berdasarkan perencanaan geoteknik yang telah dibuat sebelumnya, dengan mempertimbangkan posisi struktur serta kedalaman tanah yang ingin diuji agar data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi tanah di lapangan secara akurat.

- b. Pada tahap penurunan tabung *split spoon*, palu (*hammer*) dijatuhkan secara vertikal ke atas tabung *split spoon* yang telah ditempatkan di dalam tanah, di mana pukulan pertama diberikan sebagai tahap awal untuk memulai penetrasi tabung ke dalam lapisan tanah yang akan diuji.
 - 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. Setelah seluruh rangkaian pengujian selesai dilakukan, tabung *split spoon* kemudian diangkat kembali ke permukaan, sehingga sampel tanah yang berada di dalam tabung tersebut dapat diambil dengan hati-hati untuk selanjutnya digunakan dalam analisis dan pengujian laboratorium yang lebih mendalam.
3. Penentuan Nilai N (SPT-N)

SPT merupakan metode pengujian yang mengukur jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus lapisan tanah tertentu, yang kemudian dinyatakan sebagai nilai N. Nilai N ini umumnya ditentukan berdasarkan jumlah pukulan palu yang dibutuhkan untuk mencapai penetrasi pada 30 cm terakhir dari total kedalaman penetrasi tabung *split spoon* pada kedalaman tertentu. Nilai SPT-N tersebut merupakan jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus 30 cm terakhir dan

digunakan sebagai salah satu parameter penting dalam menilai sifat fisik dan karakteristik mekanik tanah, seperti tingkat kepadatan, konsistensi, serta kekuatan relatif tanah di lapangan.

- 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.

4. Interpretasi Nilai N (SPT- N)

Nilai SPT- N yang diukur dari hasil pengujian di lapangan memberikan indikasi yang cukup jelas terhadap karakteristik tanah, khususnya yang berkaitan dengan tingkat kepadatan pada tanah berbutir kasar atau tingkat kekuatan dan konsistensi pada tanah berbutir halus, sehingga secara umum interpretasi nilai N dapat digunakan sebagai dasar pengelompokan kondisi tanah 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 yang tinggi, yaitu berada pada kisaran 30–50 pukulan, menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki tingkat kepadatan yang cukup tinggi hingga padat, yang umumnya dijumpai pada tanah berbutir kasar seperti kerikil atau pasir bergradasi halus yang berada dalam kondisi padat.
- d. Nilai N yang sangat tinggi, yaitu lebih dari 50 pukulan, menunjukkan kondisi tanah yang sangat keras dan sangat padat, yang mencerminkan tingkat ketahanan tanah terhadap penetrasi yang sangat besar, seperti pada tanah yang tersusun dari lempung keras, tanah berbutir kasar dengan kepadatan sangat tinggi, atau bahkan lapisan tanah yang telah mendekati karakteristik batuan.

Namun demikian, interpretasi nilai SPT-N perlu dilakukan secara cermat dan hati-hati, karena hasil pengujian ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kedalaman pengujian, jenis dan kondisi tanah, tingkat kelembaban atau kejenuhan tanah, serta adanya lapisan batuan atau material keras lainnya yang dapat memengaruhi jumlah pukulan yang tercatat.

5. 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.

6. 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.

2.3.2 Uji Lab Tanah

Uji laboratorium tanah merupakan serangkaian pengujian yang dilakukan di dalam laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil langsung dari lapangan, baik berupa sampel terganggu maupun tidak terganggu, dengan tujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah secara lebih rinci, akurat, dan terkontrol. Pengujian ini dilakukan dengan prosedur dan standar tertentu sehingga kondisi pengujian dapat merepresentasikan perilaku tanah yang sebenarnya. Uji laboratorium tanah memiliki peranan yang sangat penting dalam perencanaan geoteknik, karena data dan parameter yang dihasilkan digunakan sebagai dasar dalam menganalisis kestabilan tanah, merancang jenis dan dimensi fondasi yang sesuai, serta mengevaluasi berbagai risiko teknis yang mungkin terjadi pada suatu proyek konstruksi. Dengan adanya hasil uji laboratorium yang andal, perencanaan struktur dapat dilakukan secara lebih aman, efisien, dan sesuai dengan kondisi tanah setempat.

Jenis-jenis uji lab tanah meliputi uji sifat fisik seperti kadar air, berat jenis (*specific gravity*), analisis ukuran butiran (*sieve & hydrometer analysis*), dan batas Atterberg (batas cair, plastis, dan susut). Sedangkan uji sifat mekanik meliputi uji kuat geser langsung (*direct shear test*), uji triaxial, uji konsolidasi, dan uji permeabilitas. Setiap pengujian memberikan data penting, seperti kohesi tanah,

sudut geser dalam, modulus elastisitas, dan tingkat konsolidasi, yang digunakan dalam perhitungan teknis bangunan dan infrastruktur.

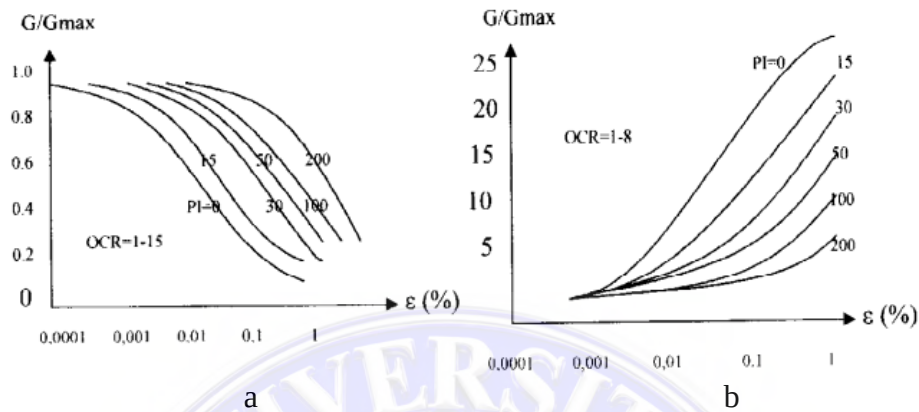
2.4 Modulus Geser Tanah

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 kekakuan tanah dibawah pondasi dan analisis perambatan gelombang.

Penelitian tentang modulus geser tanah sudah banyak yang dilakukan oleh para peneliti diantaranya adalah :

ucetic dan Dobry (1991) dalam penelitiannya mengkaji pengaruh Indeks Plastisitas (PI) terhadap perilaku dinamik maupun perilaku statik tanah lempung, khususnya dalam kaitannya dengan perubahan karakteristik kekakuan tanah akibat variasi tingkat plastisitas. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa besarnya nilai modulus geser pada setiap tingkat regangan geser akan dinormalisasikan terhadap nilai modulus geser maksimum, yang kemudian dinyatakan dalam bentuk perbandingan tak berdimensi dan dinotasikan sebagai G/G_{max} untuk memudahkan analisis serta interpretasi perilaku tanah. 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 (Bowles, 1996)

Pada gambar 1.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 relatif 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 1.b dapat 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 dkk (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.

Cunhy 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 5. Nilai Representatif dari Modulus Geser (G) (Bowles, 1996)

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 Basah	1,3 – 2	9 – 15
Lempung Berlumpur Lembek Kering	2,5 – 3	17 – 24
Lempung Berlumpur Kering	4 – 5	25 – 35
Lempung Sedang	2 – 4	12 – 30
Lempung Berpasir	2 – 4	12 – 30

Nilai Representatif dari modulus geser adalah nilai modulus geser yang dianggap dapat mewakili kondisi sebenarnya dari tanah di lapangan untuk keperluan perencanaan geoteknik, sehingga nilai tersebut digunakan sebagai parameter desain yang mencerminkan karakteristik kekakuan tanah.

Tabel 6. Nilai *Poisson Ratio* (i) (Bowles, 1996)

Jenis Tanah	Poisson 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 Lul	0,1 – 0,3
Es	0,36
Beton	0,15

Poisson Ratio (ν) adalah rasio antara regangan lateral dan regangan aksial dalam kondisi elastis, yang menggambarkan seberapa besar perubahan dimensi samping suatu material ketika diberikan beban aksial. Nilai *Poisson ratio* tergantung pada jenis dan kondisi tanah tersebut.

Tabel 7. Modulus Tegangan-Regangan (E) (Bowles, 1996)

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

2.4.1 Hitungan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Modulus geser adalah salah satu karakteristik dinamis tanah yang umumnya dinyatakan dengan notasi (G). Nilai modulus ini merupakan perbandingan antara tegangan geser (r) dan regangan geser (s). Banyak parameter yang memengaruhi

nilai modulus geser tanah, seperti tegangan vertikal efektif (σ_v), bentuk butiran, efek kejenuhan, indeks plastisitas tanah (PI), *overconsolidation ratio* (OCR), angka pori (e), sudut geser dalam tanah (ϕ), dan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (K_0).

2.4.2 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 (μ) disebut tegangan vertikal total.

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

Dimana :

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

γ = Berat isi lapisan tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Jika tanah dibebani (dan karena air) disebut incompressibel, maka beban pertama yang diterima air dan timbul adalah tekanan air pori.

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

Dimana :

μ = Tekanan air pori tanah (kN/m²)

γ_w = Berat volume air = 9.81 (kN/m³)

z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m)

Air yang berada dalam kondisi bertekanan tersebut selanjutnya akan mengalir keluar melalui pori-pori tanah, sehingga secara bertahap menyebabkan penurunan tekanan air pori di dalam massa tanah, dan setelah tekanan air pori tersebut berkurang atau hilang, seluruh beban yang bekerja akan sepenuhnya

dipikul oleh bidang kontak antar butiran tanah yang dikenal sebagai tegangan vertikal efektif.

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

Dimana :

σ'_v = Tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)

σ_v = Tegangan vertikal total tanah (kN/m²)

μ = Tegangan pori air (kN/m²)

Perhitungan manual sebagaimana dijelaskan di atas dapat diterapkan apabila tersedia data hasil pengujian *sieve analysis* sebagai dasar dalam melakukan analisis distribusi ukuran butir tanah, karena data tersebut memberikan informasi yang diperlukan untuk menentukan parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan.. Dengan demikian, penggunaan nilai korelasi tersebut dapat menjadi alternatif yang praktis dan efisien dalam proses evaluasi parameter tanah ketika keterbatasan data pengujian laboratorium terjadi, Namun, apabila data hasil pengujian *sieve analysis* tersebut tidak tersedia, maka perhitungan nilai tegangan tetap dapat dilakukan dengan memanfaatkan nilai-nilai korelasi empiris yang tercantum pada Tabel 8 di bawah ini sebagai pendekatan, yang diasumsikan mampu mewakili karakteristik dan kondisi tanah di lapangan secara cukup memadai untuk keperluan analisis:

Tabel 8. Nilai Korelasi Paramater Tanah dengan N-SPT untuk jenis tanah pasir (*Sand*) dan lempung (*Clay*) (Kouretzis, 2018)

Nilai N-SPT	Soil Parameters Description	Nilai Korelasi		
	<i>Sand</i>	<i>Relative Density</i> Dr%	γ (kN/m ²)	ϕ^1 (deg)
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>			γ (kN/m ²)	ϕ^1 (deg)
0 -1	<i>Very Soft</i>		15.7 – 18.8	20
3 - 2	<i>Soft</i>		17.3 – 20.4	12
4 – 7	<i>Medium</i>			25
8 – 15	<i>Stiff</i>			
16 – 31	<i>Very Stiff</i>		18.8 – 22.0	100
32	<i>Hard</i>			200

Pada nilai korelasi di atas, untuk mendapatkan berat isi jenis 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 :

y = Berat isi tanah

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

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

z = Selisih (γ_{atas} – γ_{bawah})

γ = Nilai γ

2.4.3 Metode Empiris Dengan Rumus Hardin dan Black

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

1. Pasir bergradasi bulat

$$G_{max} = \frac{6908(2,71-e)^2}{1+e} (\bar{\sigma})^{0,50} \dots\dots\dots (5)$$

Jika lapisan tanah adalah jenis pasir (*sand*) maka untuk perhitungan modulus geser tanahnya menggunakan rumus di atas.

2. Pasir bersudut

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

Jika lapisan tanah adalah jenis pasir yang bersudut maka untuk perhitungan modulus geser tanahnya menggunakan rumus di atas.

Dimana :

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

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

$\bar{\sigma}_v$ = Tegangan vertikal efektif (kPa) dan $\emptyset$ sudut geser dalam tanah

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

3. Tanah Lempung

$$G_{\max} = \frac{3230(2,97-e)^2}{1+2e} \text{OCR}^k (\bar{\sigma})^{(0,50)} \dots\dots\dots (7)$$

Bila lapisan tanah adalah jenis tanah lempung (*clay*) maka untuk perhitungan modulus geser tanahnya menggunakan rumus di atas.

Dimana :

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

K_0 = koefisien tekanan lateral tanah dalam keadaan diam

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

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

Sedangkan nilai k yang merupakan fungsi indeks plastisitas tanah diperoleh dari tabel 9. berikut:

Tabel 9. Hubungan antara Plastisitas Indeks dengan nilai k (Hardin dan Black, 1968)

Plastisitas Indeks	K
0	0
20	0,18
40	0,31
60	0,41
80	0,48
>100	0,48

Dimana:

G_{max} = Modulus geser maksimum (kN/m²)

$\bar{\sigma}_0$ = tegangan efektif octahedral

OCR = *Overconsolidated ration*

K = Suatu Konstanta

$\bar{\sigma}_v$ = Tegangan vertikal efektif (kN/m²)

PI = Indeks plastisitas tanah

K_0 = Koefisien tekanan tanah dalam keadaan rest.

Untuk mendapatkan nilai k yang merupakan fungsi indeks plastisitas tanah di atas, dapat digunakan rumus interpolasi sesuai dengan nilai PI (nilai plastisitas indeks) dengan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

K = Konstanta

y_1 = Selisih nilai suatu konstanta (K) (Batas atas–batas bawah)

y_2 = Selisih nilai suatu konstanta (K)

x = nilai indeks plastisitas tanah

x_1 =selisih nilai Plastisitas tanah Indeks (Batas atas–batas bawah)

x_2 = selisih nilai Plastisitas indeks (Batas bawah - batas atas)

2.4.4 Sudut Geser Tanah

Hubungan nilai N-SPT dengan sudut geser dalam (ϕ) pasir menunjukkan bahwa semakin besar nilai N-SPT maka nilai sudut geser tanah juga cenderung meningkat, karena nilai pukulan SPT mencerminkan tingkat kepadatan dan kekuatan tanah di lapangan. Nilai N-SPT yang rendah (0–4) menunjukkan kondisi pasir sangat lepas sehingga memiliki sudut geser kurang dari 30° , yang mengindikasikan bahwa interaksi dan penguncian antar butiran masih relatif lemah. Sebaliknya, pada nilai N-SPT yang lebih tinggi, kondisi tanah menunjukkan tingkat kepadatan yang semakin baik dan memiliki kekuatan geser yang lebih besar akibat meningkatnya tahanan antar butiran. Hal ini menunjukkan bahwa kepadatan relatif tanah pasir sangat mempengaruhi besar kecilnya sudut geser dalam, di mana semakin padat kondisi tanah maka tahanan geser antar butiran semakin besar sehingga kemampuan tanah dalam menahan beban juga semakin meningkat (Das, 2008).

Tabel 10. Hubungan N-SPT dan sudut geser (ϕ) pasir (Das, 2008)

N-SPT	Sudut Geser Tanah, ϕ (deg)
0 – 4	<30
4 – 10	30 – 35
10 – 30	35 – 40
30 – 50	40 – 45
>50	>45

2.5 Korelasi NSPT Terhadap G_{max}

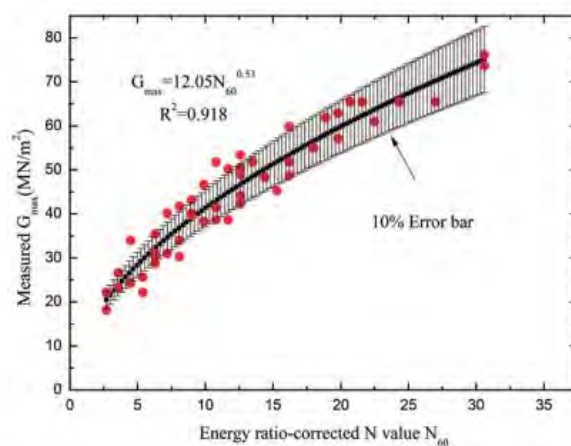
Korelasi antara nilai NSPT (*Standard Penetration Test*) dan G_{max} (modulus geser maksimum) merupakan hubungan empiris yang digunakan untuk memperkirakan kekakuan tanah berdasarkan data uji lapangan yang sederhana dan ekonomis. Nilai NSPT mencerminkan tingkat kepadatan atau kekuatan relatif tanah, sementara G_{max} menggambarkan kekakuan tanah pada regangan sangat kecil dan sangat penting dalam analisis respons dinamik seperti akibat gempa.

Karena pengujian langsung G_{max} memerlukan alat khusus dan biaya tinggi, maka korelasi empiris dikembangkan untuk menghubungkan G_{max} dengan nilai NSPT yang lebih mudah diperoleh. Secara umum, semakin tinggi nilai NSPT, maka nilai G_{max} juga meningkat, menunjukkan bahwa tanah yang lebih padat memiliki kekakuan yang lebih besar. Korelasi ini telah banyak dikembangkan oleh para peneliti seperti Hardin & Black (1968) dan digunakan luas dalam praktik geoteknik.

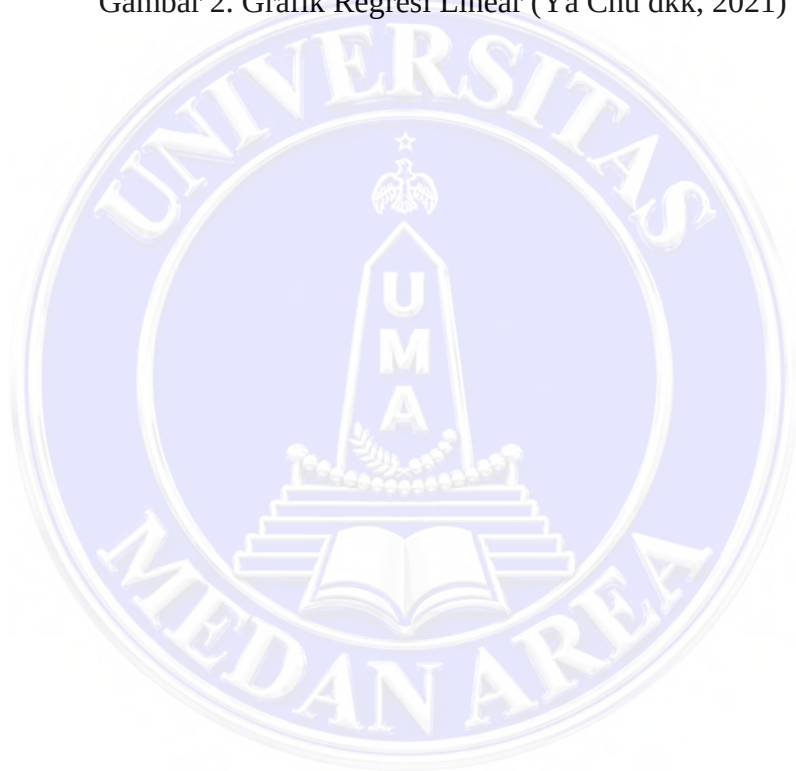
2.5.1 Grafik Regresi Linear

Berdasarkan jurnal “*Characterization on the Correlation between SPT-N and Small Strain Shear Modulus G_{max} of Jiangsu Silts of China*” oleh Chu et al. (2021), hubungan antara nilai NSPT (*Standard Penetration Test*) dan modulus geser pada regangan kecil (G_{max}) dianalisis melalui pendekatan regresi menggunakan data lapangan dari proyek jalan tol Su-Xin di Cina. Penelitian ini mengolah sekitar 50 pasang data nilai N dan G_{max} yang diperoleh dari pengujian SPT dan SCPTU (*Seismic Piezocone Penetration Test*). Regresi terbaik ditemukan pada hubungan eksponensial antara nilai N yang tidak dikoreksi dan G_{max} , dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,918, menunjukkan kecocokan yang baik.

Dalam analisis regresi linear, nilai koefisien determinasi yang dilambangkan dengan R^2 digunakan untuk menunjukkan seberapa baik model regresi dapat menjelaskan variasi dari data yang diamati. Nilai R^2 berada dalam rentang 0 hingga 1. Semakin mendekati 1 nilai R^2 , maka semakin baik kecocokan antara model regresi dengan data aktual. Dalam konteks penelitian hubungan antara nilai NSPT dan modulus geser kecil (G_{max}), nilai R^2 yang tinggi (misalnya $R^2 = 0,918$) menunjukkan bahwa model regresi semakin baik.



Gambar 2. Grafik Regresi Linear (Ya Chu dkk, 2021)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih untuk Penelitian ini yaitu pada Proyek pembangunan Pabrik kertas di Tanjung Morawa, Kota Medan, Provinsi Sumatera utara. Lokasi Penelitian di ambil dari *Google Earth* yang di tunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Lokasi penelitian (*Google earth*, 2025)

3.2 Kondisi Tanah Eksisting

Berdasarkan data BH-1 dan BH-2 pada penelitian ini kondisi tanah memiliki kedalaman 30 m untuk mendapatkan jenis tanah keras, pada lokasi penelitian jenis tanah lebih berdominasi ke jenis Pasir berlempung dan Pasir. Data kondisi tanah eksisting dapat di lihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Nilai *Standard Penetration Test* BH-1 (Data lapangan, 2026)

No.	Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah
1	0-2,00	7	Pasir berlempung
2	2,00-4,00	15	Pasir berlempung
3	4,00-6,00	3	lempung berpasir
4	6,00-8,00	4	lempung berpasir
5	8,00-10,00	13	lempung berpasir
6	10,00-12,00	50	Pasir
7	12,00-14,00	31	Pasir
8	14,00-16,00	60	Pasir
9	16,00-18,00	60	Pasir
10	18,00-20,00	60	Pasir
11	20,00-22,00	54	Pasir
12	22,00-24,00	60	Pasir

Tabel 12. Nilai *Standard Penetration Test* BH-2 (Data lapangan, 2026)

No.	Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah
1	0-2,00	5	Pasir berlempung
2	2,00-4,00	6	Lempung berpasir
3	4,00-6,00	13	Lempung berpasir
4	6,00-8,00	3	Pasir berlempung
5	8,00-10,00	3	Pasir berlempung
6	10,00-12,00	50	Pasir berlempung
7	12,00-14,00	59	Pasir
8	14,00-16,00	38	Pasir
9	16,00-18,00	56	Pasir
10	18,00-20,00	50	Pasir
11	20,00-22,00	51	Pasir
12	22,00-24,00	56	Pasir
13	24,00-26,00	60	Pasir
14	26,00-28,00	60	Pasir
15	28,00-30,00	60	Pasir

3.3 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data yang berkaitan dalam penyusunan penelitian ini dibagi kedalam 2 (dua) jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

3.3.1 Data Primer

Merupakan jenis data yang dikumpulkan secara langsung dari lapangan, yaitu berupa informasi yang berkaitan dengan kondisi proyek dan memiliki hubungan langsung dengan penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data SPT (*Standard Penetration Test*), di mana data SPT tersebut diperoleh dari hasil pengeboran tanah yang dilakukan pada beberapa titik bor di lokasi penelitian. Pengujian SPT dilaksanakan untuk memperoleh nilai N-SPT, yang digunakan sebagai parameter untuk merepresentasikan tingkat kekerasan, kepadatan, dan kerapatan tanah pada setiap lapisan tanah yang diuji.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung, yaitu berasal dari berbagai sumber pendukung seperti jurnal-jurnal penelitian terdahulu, hasil *review* ilmiah, studi kepustakaan, serta buku-buku referensi yang memiliki keterkaitan dan relevansi dengan judul penelitian ini, sehingga dapat digunakan sebagai landasan teori dan bahan pembandingan dalam pembahasan penelitian.

3.4 Tahapan Penelitian

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

1. Tahapan pertama adalah *review* dan studi kepustakaan, yaitu dengan mencari jurnal-jurnal penelitian terdahulu dan buku yang berkaitan dengan penelitian analisis modulus geser tanah serta pengaruh modulus terhadap struktur bangunan. Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang kuat serta memahami konsep-konsep dasar yang

berkaitan dengan perilaku tanah dalam bidang geoteknik. Selain itu, studi kepustakaan juga bertujuan untuk mengetahui metode penelitian yang telah digunakan oleh peneliti sebelumnya sehingga dapat dijadikan referensi dalam penyusunan metode penelitian. Dengan adanya kajian pustaka yang memadai, penelitian yang dilakukan diharapkan memiliki dasar ilmiah yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan.

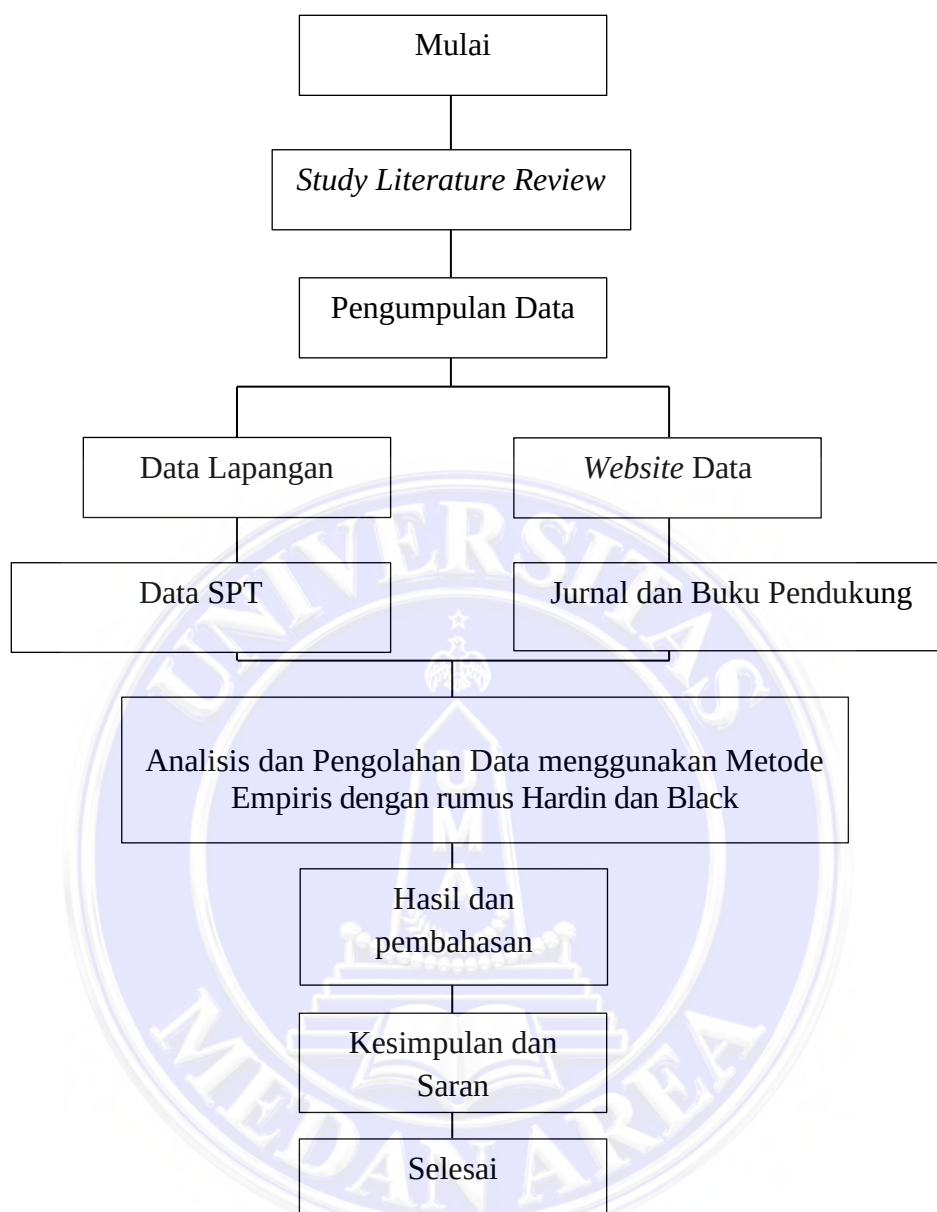
2. Tahapan kedua adalah peninjauan langsung di lokasi proyek untuk melakukan pengambilan data yang diperlukan. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh informasi kondisi tanah dan lingkungan secara nyata di lapangan sehingga data yang diperoleh lebih akurat. Selain itu, peninjauan lapangan juga membantu peneliti dalam memahami kondisi lokasi penelitian serta memastikan bahwa data yang dikumpulkan sesuai dengan kebutuhan analisis yang akan dilakukan.
3. Tahapan ketiga adalah mengumpulkan data yang diperoleh dari proyek, yaitu data yang dibutuhkan adalah data SPT (*Standard Penetration Test*). Data tersebut digunakan untuk mengetahui nilai N-SPT yang menggambarkan tingkat kepadatan dan kekuatan tanah pada setiap kedalaman tertentu. Selain itu, data SPT juga menjadi dasar dalam analisis parameter tanah yang diperlukan dalam perhitungan modulus geser tanah pada penelitian ini.
4. Tahapan keempat adalah melakukan analisis perhitungan dengan data yang diperoleh berdasarkan metode yang digunakan. Pada tahap ini, data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dan dianalisis untuk

mendapatkan parameter tanah yang dibutuhkan dalam penelitian. Proses perhitungan dilakukan secara sistematis sesuai dengan rumus dan pendekatan yang telah ditetapkan agar hasil analisis dapat digunakan sebagai dasar dalam menarik kesimpulan penelitian.

5. Tahapan kelima adalah membuat kesimpulan dari hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan. Kesimpulan ini disusun berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi data yang diperoleh selama proses penelitian. Selain itu, kesimpulan juga bertujuan untuk menjelaskan hasil penelitian secara ringkas.

3.5 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan uraian singkat yang menggambarkan alur logika dari proses penelitian yang dilakukan, mulai dari tahap awal hingga tahap akhir. Tujuan dari penyusunan kerangka berpikir ini adalah untuk memberikan gambaran yang jelas dan sistematis mengenai langkah-langkah yang akan ditempuh dalam penelitian. Agar proses penelitian dapat berjalan secara terarah, tersusun, dan terstruktur dengan baik, maka dibuatlah sebuah diagram bagan alur yang berfungsi sebagai panduan dalam pelaksanaan skripsi ini. Bagan alur tersebut membantu peneliti dalam memahami tahapan-tahapan penting yang harus dilakukan, dimulai dari proses, pengumpulan data, analisis, hingga pada akhirnya penyusunan kesimpulan. Adapun gambaran visual mengenai alur logika penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai modulus geser tanah (G_{max}) sangat dipengaruhi oleh bertambahnya nilai tegangan tanah vertikal efektif dan tegangan tanah *octahedral* seiring dengan kedalaman. Semakin besar tegangan efektif yang bekerja pada tanah, maka semakin tinggi pula tingkat kekakuan tanah yang ditunjukkan melalui peningkatan nilai modulus geser. Berdasarkan hasil yang didapatkan untuk bore log 1 pada lapisan tanah pertama diperoleh $G_{max} = 721,292$ kN/m² hingga lapisan akhir $G_{max} = 15688,435$ kN/m² dan bore log 2 pada lapisan tanah pertama diperoleh $G_{max} = 1606,555$ kN/m² hingga lapisan akhir diperoleh $G_{max} = 4471,735$ kN/m². Sehingga dapat disimpulkan semakin dalam lapisan tanah nilai G_{max} juga meningkat seiring kedalamannya. Nilai modulus geser yang tinggi menandakan bahwa tanah memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan deformasi geser akibat beban yang diterima. Kemungkinan terjadinya kegagalan struktur dapat berkurang.

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

- AASHTO. (1978). *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- Al Ahmad, M. H., Artawan, I. P., Ridlo, M. A., Wahyudi, E., & Harviyanti, E. (2025). Analisis Kinerja Struktural Jembatan Gantung Berbasis Baja Ringan untuk Daerah Rawan Gempa. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 8(1), 997-1009.
- Anderson, D.G., Richart, F.E., & Stokoe, K.H. (1978). *Shear modulus and damping in soils: Measurement and parameter effects*. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE.
- Atihah, n. (2024). Analisis deformasi lateral *contiguous bored pile* pada pekerjaan galian dalam menggunakan metode elemen hingga (studi kasus: proyek pembangunan kantor jhl s8 gading serpong) (*doctoral dissertation*, fakultas teknik universitas sultan ageng tirtayasa).
- Bowles, J.E. (1991). *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J.E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. 5th Edition. McGraw-Hill, Singapore.
- Braja, M. Das. (1993). *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS-Kent Publishing Company.
- Chu, Y.,. (2021). *Characterization on the Correlation between SPT-N and Small Strain Shear Modulus Gmax of Jiangsu Silts of China*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- Cunny, R., & Fry, D. (1973). *Resonant column testing of soils for shear modulus evaluation*. *Geotechnical Testing Journal*.
- Fatihah, A. (2024). Studi karakteristik geser tanah dalam perencanaan pondasi gedung bertingkat. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*.
- Hardin, B.O., & Black, W.L. (1968). *Vibration modulus of normally consolidated clay*. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Div.*, ASCE.
- Hardin, B.O., & Music, R.C. (1965). *Resonant column tests of soil specimens*. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE.
- Iskandar, A., Sentosa, G.S., Kawanda, A., Yohana, F., & Tantobudiono, F.R. (2025), "SPT-Effective Shear Parameter Correlation for Soft Clay in Jakarta Using Big Data.
- Junaedi, A. (2021). Kajian pergeseran tanah akibat pembebanan eksternal. *Jurnal Geoteknik dan Fondasi*.
- Junaedi, J. (2021). Analisa Dinding Penahan Tanah dengan Menggunakan Type Gravitasi di Jalan Purwobinangun Kota Samarinda. *Kurva Mahasiswa*, 11(1), 575-600.
- Kouretzis, G. (2018). *Correlation of SPT values with soil parameters for sand and clay*. *International Journal of Geomechanics*.
- Musawwir, M. (2025). Korelasi Empiris Antara Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Dan Nilai SPT-N Pada Area Reklamasi Pasca Penambangan Nikel Di PT. MSWR.
- Panjamani, S., (2024). *Selection of Shear Modulus Correlation for SPT N Values based on Site Response Studies*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.

Sagala, D.A. & Wulandari, T.E. (2025), “Analisis Nilai Modulus Geser Maksimum Tanah Lempung Berdasarkan Data Standard Penetration Test (SPT) di Mandailing Natal



LAMPIRAN

