

**ANALISIS KORELASI KUAT GESER TANAH  
MENGUNAKAN UJI TRIAKSIAL & UJI *DIRECT SHEAR*  
TEST NICKEL SMELTER KALIMANTAN TIMUR**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**EPI TANIA  
198110067**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
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 3/7/24

Access From (repository.uma.ac.id)3/7/24

**ANALISIS KORELASI KUAT GESER TANAH  
MENGUNAKAN UJI TRIAKSIAL & UJI *DIRECT TEST*  
*SHEAR NICKEL SMELTER* KALIMANTAN TIMUR**

**SKRIPSI**

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



**Oleh:**

**EPI TANIA  
198110067**

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

## PALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Korelasi Kuat Geser Tanah menggunakan Uji Triaksial & Uji *Direct Shear Test* Nickel Smelter Kalimantan Timur  
Nama : Epi Tania  
NPM : 198110067  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:  
Komisi Pembimbing



Tanggal Lulus : 27 Maret 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 sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 27 Maret 2024



Epi Tania  
198110067

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

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

Nama : Epi Tania  
NPM : 19810067  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demikian 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 Korelasi Kuat Geser Tanah menggunakan Uji Triaksial & Uji *Direct Shear Test* Nickel Smelter Kalimantan Timur. 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 : 27 Maret 2024  
Yang menyatakan

(Epi Tania)

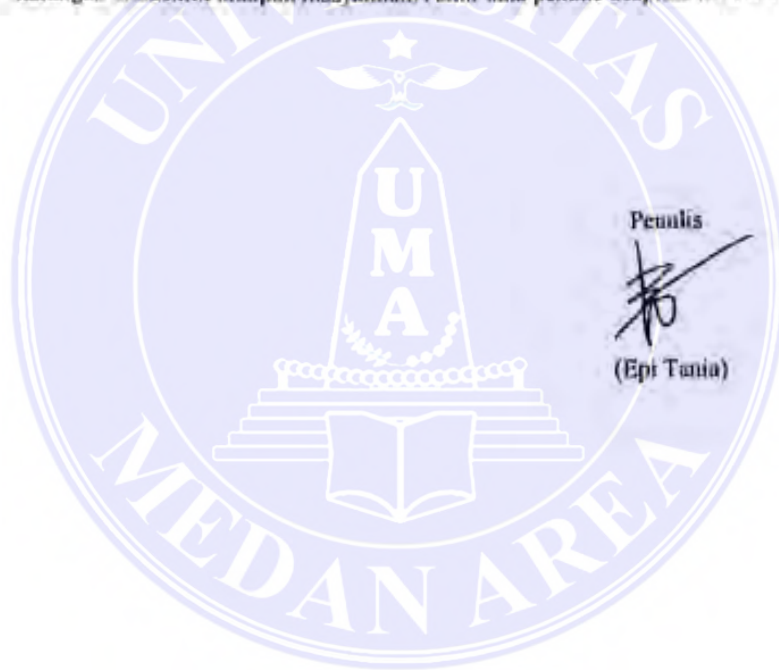
## RIWAYAT HIDUP

Epi tania lahir di Sei Rotan, tanggal 22 Maret 2001. Penulis merupakan putri ke 4 dari 4 bersaudara dari ayah Samijan dan ibu Wagiyem. Pada tahun 2007 penulis masuk Sekolah Dasar Negeri (SDN) 104607 sei rotan dan lulus pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan sekolah tingkat pertama pada tahun yang sama di MTs Islamiah YPI Batang Kuis dan lulus pada tahun 2016. Kemudian tingkat menengah pada tahun yang sama di SMKN 1 Percut Sei Tuan dan lulus pada tahun 2019. Pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil di Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan penulis pada tahun 2023 melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Jalan Setia Budi pada pembangunan Irian Supermarket.



## 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 kuantitatif dengan judul Analisis Korelasi Kuat Geser Tanah menggunakan Uji Triaksial & Uji *Direct Shear* Nickel Smelter Kalimantan Timur. Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil sekaligus dosen pembimbing saya yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada diri sendiri yang pada akhirnya bisa terselesaikan dengan melawan kemalasan skripsi yang lama serta tempat yang dimana menjadi persinggahan sebagai melepaskan kekosongan pikiran 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.



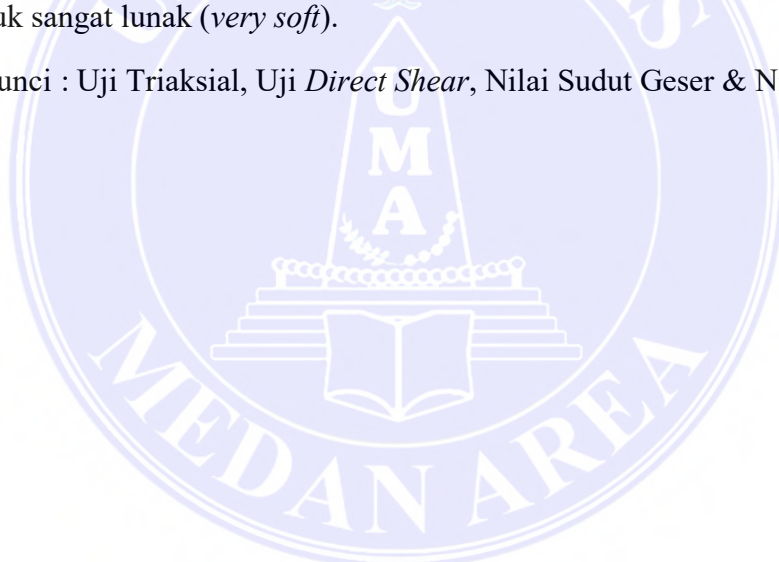
Penulis

  
(Epi Tania)

## ABSTRAK

Kuat geser tanah merupakan kekuatan tanah untuk memikul beban – beban atau gaya yang dapat menyebabkan kelongsoran, keruntuhan, gelincir dan pergeseran tanah. Faktor yang mempengaruhi kuat geser seperti keadaan tanah (angka pori, ukuran & bentuk butiran), jenis tanah (pasir, lempung), kadar air. Tujuan penelitian nilai kuat geser tanah menggunakan uji triaksial & uji *direct shear* mendapatkan hasil korelasi nilai sudut geser dan nilai kohesi dengan menggunakan regresi linear, mengetahui nilai seberapa besar kuat geser tanah dari uji tersebut, dan mengetahui perbedaan hasil sudut geser dan nilai kohesi dari kedalaman data *borelog*. Persamaan yang direkomendasikan untuk digunakan dalam memprediksi nilai kuat geser dan kohesi yaitu :  $\tau = -38,186 + 1,074tx + 1,242ds$ ,  $c = 23,537 - 29,537tx + 11,568ds$ . Hasil dari perhitungan melalui persamaan data pengujian triaksial dan *direct shear* tersebut didapat nilai rata – rata  $\phi$  triaksial 22,96 kg/m<sup>2</sup> sedangkan  $\phi$  *direct shear* 24,65 kg/m<sup>2</sup> yang mana  $\phi$  triaksial <  $\phi$  *direct shear*, maka korelasi empiris kuat geser tanah dari kedua pengujian konsistensi sudut geser tanah termasuk sangat lunak (*very soft*). Nilai kohesi  $C_{tx}$  dengan rata – rata 0,52° lebih kecil dari nilai  $C_{dx}$  ya itu 0,77°, maka korelasi empiris kuat geser tanah dari kedua pengujian konsistensi kohesi tanah termasuk sangat lunak (*very soft*).

Kata Kunci : Uji Triaksial, Uji *Direct Shear*, Nilai Sudut Geser & Nilai Kohesi.





### ABSTRACT

Soil shear strength is the strength of the soil carry loads or forces that can cause landslides, collapses, sliding and shifting of the soil. That influence shear strength include soil condition (pore number, size & shape of grains), soil type (sand, clay), water content. The aim of research is the value of soil shear strength using the triaxial test & direct shear test, to obtain the correlation results of the shear angle and cohesion values using linear regression, to find out the value of how much soil shear strength is from these tests, and to find out the differences in the results of the shear angle and cohesion values from the depth of the data borelog. The recommended equation to be used in predicting shear strength and cohesion values is  $\phi = -38,186 + 1,074\sigma + 1,242ds$ ,  $c = 23,537 - 29,539\sigma + 11,568ds$ . The results of calculations using the equation of triaxial and direct shear test data obtained an average value of  $\phi$  triaxial 22,96 kg/m<sup>2</sup> while  $\phi$  direct shear 24,65 kg/m<sup>2</sup>, where  $\phi$  triaxial <  $\phi$  direct shear, then empirical correlation of soil shear strength from the two soil shear angle consistency test is included very soft. The  $C_{tr}$  cohesion value with an average of 0,52° is smaller than the  $C_{ds}$  value, which is 0,77°, so the empirical correlation of soil shear strength from the two soil cohesion consistency tests is very soft.

Keywords : Triaxial Test, Direct Shear Test, Shear Angle & cohesion.



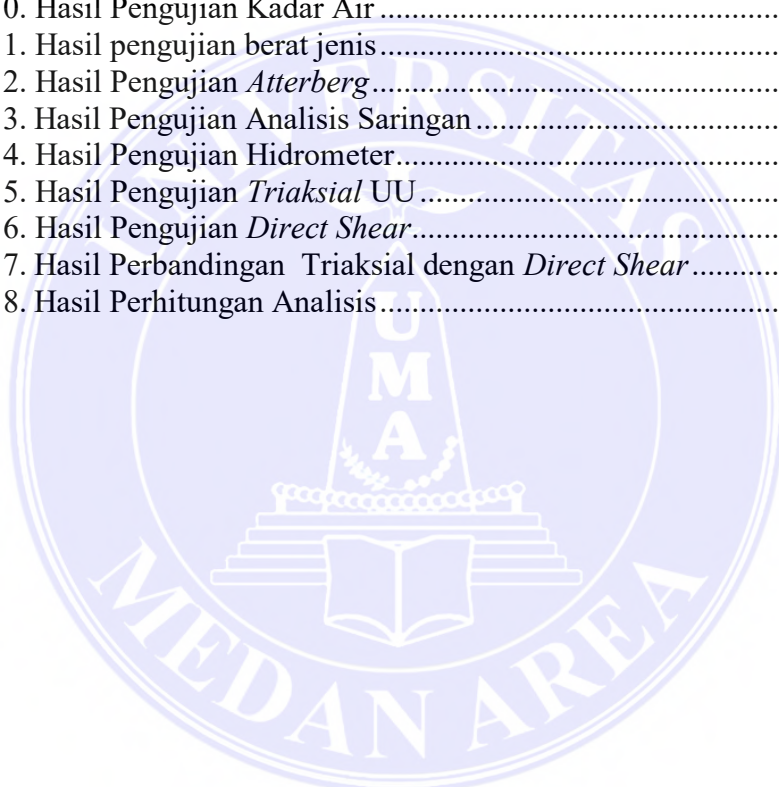
## DAFTAR ISI

	Halaman
COVER.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	Erro
<b>r! Bookmark not defined.</b>	
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGHANTAR.....	Erro
<b>r! Bookmark not defined.</b>	
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Maksud & Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Klasifikasi Tanah.....	8
2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO ( <i>American Association of State Highway and Transportation Official</i> ) .....	9
2.2.2 Sistem Klasifikasi USCS ( <i>Unified Soil Classification System</i> ) .....	12
2.3 Komposisi Tanah.....	16
2.4 Sifat Fisik Tanah.....	18
2.5 Tanah Lempung.....	24
2.6 Kuat Geser Tanah.....	26
2.6.1 Uji Triaksial ( <i>Triakxial Test</i> ) .....	29
2.6.2 Uji Kuat Geser Langsung ( <i>Direct Shear Test</i> ) .....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Lokasi Penelitian.....	41
3.2 <i>Site Plan</i> Lokasi.....	42
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	43
3.3.1 Data Primer.....	43
3.3.2 Data Sekunder.....	44
3.4 Metode Analisis.....	44

3.5	Tahapan Penelitian.....	44
3.6	Diagram Alur Penelitian.....	45
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1	Hasil Data Pengujian Fisik Tanah.....	47
4.1.1	Data Pengujian Kadar Air.....	47
4.1.2	Data Pengujian Berat Jenis.....	48
4.1.3	Data Pengujian Batas Atterberg.....	49
4.1.4	Data Pengujian Analisis Saringan dan Hidrometer.....	50
4.1.5	Data Pengujian <i>Triaxial</i> UU ( <i>Unconsolidated Undrained</i> ).....	51
4.1.6	Data Pengujian <i>Direct Shear</i> .....	54
4.2	Perbandingan Data Pengujian Triaksial dan Pengujian <i>Direct Shear</i> .....	56
4.3	Pembahasan.....	60
4.3.1	Hubungan nilai kohesi & sudut geser pada uji triaksial dan <i>direct shea</i> .....	60
4.3.2	Pengaruh dari Kuat Geser.....	61
4.3.3	Penyebab Hasil Sudut Geser & Nilai Kohesi pada uji triaksial UU dan <i>direct shear test</i> .....	62
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	66
	DAFTAR PUSTAKA.....	67
	LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kelompok Klasifikasi AASHTO Tanah <i>Granuler</i> .....	11
Tabel 2. Simbol Klasifikasi USCS .....	13
Tabel 3. Kadar air.....	19
Tabel 4. Derajat Kejenuhan dan Konsistensi Tanah .....	19
Tabel 5. Berat Jenis Tanah .....	21
Tabel 6. Hubungan Nilai Indeks Plastisitas .....	22
Tabel 7. Konsistensi lempung dan bentuk kekuatan kompresif.....	25
Tabel 8. Sudut Gesek dalam $\phi'$ untuk Tanah Pasir.....	39
Tabel 9. Data <i>Bore log</i> (BH 10) .....	43
Tabel 10. Hasil Pengujian Kadar Air .....	47
Tabel 11. Hasil pengujian berat jenis .....	48
Tabel 12. Hasil Pengujian <i>Atterberg</i> .....	49
Tabel 13. Hasil Pengujian Analisis Saringan .....	50
Tabel 14. Hasil Pengujian Hidrometer.....	50
Tabel 15. Hasil Pengujian <i>Triaksial</i> UU .....	51
Tabel 16. Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> .....	54
Tabel 17. Hasil Perbandingan <i>Triaksial</i> dengan <i>Direct Shear</i> .....	56
Tabel 18. Hasil Perhitungan Analisis .....	56



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Klasifikasi Tanah dengan Sistem AASHTO sesuai AASHTO M 145 .....	10
Gambar 2. Kelompok Klasifikasi AASHTO Tanah <i>Fine Soils</i> .....	11
Gambar 3. Klasifikasi USCS.....	14
Gambar 4. Bagan Plastisitas .....	16
Gambar 5. Tiga Fase Elemen Tanah .....	17
Gambar 6. Batas – Batas <i>Atterberg</i> .....	22
Gambar 7. Distribusi Ukuran Partikel.....	23
Gambar 8. Kriteria Keruntuhan <i>Mohr - Coulomb</i> .....	27
Gambar 9. Skema alat uji <i>triaxial</i> .....	30
Gambar 10. Lingkaran <i>Mohr</i> pada Pengujian UU <i>Triaksial</i> .....	32
Gambar 11. Lingkaran <i>Mohr</i> dan Garis Keruntuhan <i>Triaksial</i> CU .....	33
Gambar 12. Lingkaran <i>Mohr</i> pada CD <i>Triaksial</i> .....	34
Gambar 13. Skema Pengujian <i>Direct Shear Test</i> .....	36
Gambar 14. Hasil Uji Tanah Geser Langsung pada Tanah Pasir.....	38
Gambar 15. Lokasi Proyek.....	41
Gambar 16. Lokasi Titik <i>Borelog</i> .....	41
Gambar 17. <i>Site Plan</i> .....	42
Gambar 18. Bagan Alir .....	46
Gambar 19. Perbandingan Uji Kadar Air Tanah Sampel 1 dan Sampel 2 .....	48
Gambar 20. Hubungan Kedalaman dengan Nilai Sudut Geser Pengujian <i>Triaksial</i> .....	52
Gambar 21. Hubungan Kedalaman dengan Nilai Kohesi Pengujian <i>Triaksial</i> .....	53
Gambar 22. Hubungan Kedalaman dengan Nilai Sudut Geser Pengujian <i>Direct Shear Test</i> .....	55
Gambar 23. Hubungan Kedalaman dengan Nilai Kohesi Pengujian <i>Direct Shear Test</i> .....	56
Gambar 24. Hubungan Nilai Sudut Geser Pengujian <i>Triaksial</i> dengan <i>Direct Shear Test</i> .....	58
Gambar 25. Hubungan Nilai Kohesi Pengujian <i>Triaksial</i> dengan <i>Direct Shear Test</i> .....	60
Gambar 26. Perbedaan Nilai Sudut Geser Pengujian <i>Triaksial</i> dengan <i>Direct Shear Test</i> .....	63
Gambar 27. Perbedaan Nilai Kohesi Pengujian <i>Triaksial</i> dengan <i>Direct Shear Test</i> .....	64

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tanah memiliki peranan yang sangat penting dalam dunia teknik sipil karena hampir seluruh konstruksi sipil berhubungan terhadap tanah, karena tanah dipakai sebagai media untuk konstruksi berdiri. Berdasarkan letak *geografis* suatu tempat, jenis tanah, sifat tanah, dan karakteristiknya tidak semua sama, maka dari itu belum tentu tanah ditempat tersebut baik untuk digunakan sebagai pendukung struktur.

Tanah terdiri dari tiga unsur penyusun air, butir, dan udara (Wesley, 2017). Dimana butiran tanah menurut teori tergolong menjadi dua, tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Tanah berbutir halus seperti tanah lempung yang jenis tanah bersifat plastis dan kohesif sedangkan berbutir kasar seperti pasir yang jenis tanah tidak plastis dan tidak kohesif (Darwis, 2018).

Pada lokasi Balikpapan - Kalimantan Timur terdapat lokasi Secara morfologis kota Balikpapan terdiri dari 85% kawasan perbukitan sejenis tanah podsolik merah kuning yang memiliki karakter topsoil tipis dan struktur tanah yang mudah tererosi. Sedangkan, 15% lainnya merupakan daerah dataran yang terletak di sepanjang mulai pantai timur dan selatan wilayah kota Balikpapan dengan jenis tanah umumnya ada alluvial (Karya, 2016). Pada penelitian ini karakteristik tanah alluvial. Alluvial merupakan jenis tanah yang terdiri dari material pasir, lempung dan lumpur yang terbentuk pada lingkungan sungai dan pantai. Tanah lempung memiliki kuat geser yang rendah dan *kompresibilitas* yang rendah. Kuat geser yang rendah mengakibatkan terbatasnya beban (beban sementara ataupun beban tetap) yang dapat bekerja di atasnya sedangkan

kompresibilitasnya yang besar mengakibatkan terjadinya penurunan setelah pembangunan selesai. Selain itu dapat menimbulkan masalah yang cukup besar dalam bidang Teknik Sipil lainnya seperti: retak dinding, terangkatnya pondasi.

Kekuatan geser tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa tanah yang dapat menyebabkan kelongsoran, keruntuhan, gelincir, dan pergeseran tanah. Kemampuan tanah dalam menahan tegangan yang mengakibatkan pergeseran pada tanah dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah derajat kejenuhan, kandungan mineral yang terdapat pada tanah tersebut dan juga metode pengujian yang dilakukan.

Percobaan *triaksial* merupakan metode yang paling umum dipakai karena menghasilkan data yang akurat tetapi membutuhkan waktu yang relatif lebih lama. Sedangkan uji kuat geser langsung merupakan pengujian yang paling mudah dan sederhana tapi tegangan yang timbul dari bidang gesek sangat kompleks. Untuk itu dilakukan pengujian untuk mendapatkan hubungan (parameter korelasi) antara hasil pengujian Triaksial *Unconsolidated Undrained* dan hasil pengujian kuat geser langsung.

Lingkup pembahasan dan masalah yang akan dianalisis yang berlokasi Teluk Waru, Balikpapan – Kalimantan Timur berdasarkan data pengujian seperti sifat fisik tanah yang meliputi pengujian untuk mengetahui perilaku tanah berdasarkan parameter – parameter tanah yang dihasilkan penyelidikan tanah. Sedangkan pengujian sifat mekanik tanah yang dilakukan yaitu pengujian *triaksial unconsolidated undrained* yang menggunakan alat uji *triaksial* dan pengujian geser langsung yang menggunakan alat uji *direct shear*. Oleh sebab itu peneliti tertarik mengambil judul Perbandingan Nilai Kuat Geser Tanah

Menggunakan Uji Triaksial & Uji *Direct Shear* Nickel Smelter Kalimantan Timur.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas maka diperoleh rumusan masalah :

1. Bagaimana hubungan/ kolerasi nilai sudut geser & nilai kohesi pada uji triaksial *unconsolidated undrained* & uji *direct shear*?
2. Bagaimana pengaruh dari kuat geser tanah?
3. Apa yang menyebabkan jika hasil sudut geser & nilai kohesi berbeda pada uji triaksial *unconsolidated undrained* dan *direct shear*?

## 1.3 Maksud & Tujuan Penelitian

Adapun maksud penelitian yaitu membandingkan data uji triaksial *unconsolidated undrained* dan uji *direct shear* Nickel Smelter Kalimantan Timur.

Adapun tujuan dari penelitian ini :

1. Mendapatkan hasil korelasi nilai sudut geser dan nilai kohesi dengan regresi linear.
2. Mengetahui seberapa besar kuat geser tanah pada data uji triaksial *unconsolidated undrained* dan uji *direct shear* .
3. Mengetahui perbedaan hasil sudut geser dan nilai kohesi pada uji triaksial *unconsolidated undrained* dan *direct shear*.

## 1.4 Batasan Masalah

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

1. Data pengujian laboratorium berupa sifat fisik tanah & mekanik tanah.
2. Hubungan antara nilai sudut geser & nilai kohesi



3. Faktor keamanan yang mempengaruhi kuat geser terhadap jenis tanah yang teruji.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Dapat memahami sifat fisik tanah dan mekanik tanah sebagai dasar perencanaan dan perancangan bangunan.
2. Memahami pengaruh dari kuat geser terhadap tanah pada geoteknik.
3. Pengembangan Ilmu geoteknik 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 biasa 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. Judul penelitian studi korelasi empiris antara nilai tahanan standart *penetration test* (N SPT) dengan kekuatan geser *undrained* (Su) tanah kohesif kota cilegon. Mina enden, Rama indera kusuma (2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan korelasi secara empiris antara nilai N SPT dengan parameter kekuatan tanah kohesif yaitu kekuatan geser *undrained* (Su) untuk tanah di wilayah kota Cilegon. Analisis data dilakukan melalui program analisis statistik software ORIGIN untuk menghasilkan persamaan korelasi. Korelasi dikembangkan melalui metode regresi linier bivariat dan multivariat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persamaan korelasi yang dihasilkan memiliki prediksi yang cukup baik dalam memperkirakan nilai Su berdasarkan nilai N SPT. Hasil yang cukup baik juga ditunjukkan dengan hasil persamaan korelasi Su- N SPT yang mempertimbangkan pengaruh indeks plastisitas, kadar air normal dan batas cair. hasil persamaan korelasi antara Tegangan geser *undrained* (Su)

dengan N SPT yang dihasilkan memiliki koefisien korelasi (R) yang cukup baik dengan nilai  $R = 0.66$  untuk persamaan pertama dan  $R = 0.68$  untuk persamaan kedua yang memasukkan faktor indeks plastisitas (PI), batas cair (LL) dan kadar air normal ( $w_n$ ). Hasil persamaan korelasi dengan mempertimbangkan pengaruh indeks plastisitas, kadar air dan batas cair ternyata dapat meningkatkan nilai koefisien korelasi persamaan sehingga hubungannya lebih kuat daripada yang mempertimbangkan nilai N SPT saja. Berdasarkan hasil perbandingan ratio  $S_u$  prediksi terhadap  $S_u$  pengukuran diperoleh bahwa prediksi  $S_u$  dari hasil persamaan korelasi pertama penelitian ini cukup baik dimana rata-rata rasio = 1.03 dan standar deviasi = 0.52. Demikian juga untuk persamaan kedua yang mempertimbangkan pengaruh PI, LL dan  $w_n$  menunjukkan hasil prediksi yang cukup baik dengan rata-rata = 1.17 dan standar deviasi = 0.58.

2. Judul penelitian korelasi parameter kuat geser tanah hasil pengujian *triaksial & unconfined compression strength* (UCS). Soewignjo, Agus, Rugun (2012). Penelitian ini bertujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan suatu hubungan atau korelasi antara parameter kuat geser tanah yang dihasilkan dari pengujian *triaksial* dengan hasil pengujian UCS. Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental dan model. Benda uji berupa campuran lempung/pasir yang dibentuk kembali, diberi pembebanan awal sehingga kondisi tidak terganggu. Untuk pengujian triaksial dan UCS digunakan benda uji dengan ukuran dan kondisi yang sama. Hasil pengujian dianalisis dengan regresi linier berganda antara dua hasil pengujian triaksial dan hasil pengujian UCS dengan dan indeks propertis tanah campuran. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan ada

korelasi kuat antara sudut gesek internal hasil pengujian triaksial dengan kohesi hasil pengujian UCS dan indeks propertis tanah. Dengan hasil Korelasi hubungan kohesi hasil uji triaksial dan hasil uji UCS dan indeks propertis sangat kuat dengan nilai kohesi yang diperoleh dari pengujian UCS sekitar 15% selalu lebih kecil dari pengujian triaksial.

3. Judul perbandingan korelasi parameter kekuatan geser tanah dengan menggunakan uji *traksial* dan uji geser langsung pada tanah lempung subsitusi pasir. Syahreza, Setyanto, Lusmeilia (2015). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan (korelasi) antara parameter kuat geser tanah yang dihasilkan dari pengujian *Triaksial Unconsolidated Undrained* dan pengujian kuat geser langsung. Hasil pengujian dianalisis dengan menggunakan analisis regresi linier berganda antara hasil pengujian *Triaksial Unconsolidated Undrained*, hasil pengujian kuat geser langsung, dan sifat fisis tanah campuran sehingga didapatkan persamaan sederhana untuk memperkirakan parameter kuat geser tanah berdasarkan hasil pengujian *Triaksial Unconsolidated Undrained*, hasil pengujian kuat geser langsung, dan sifat fisik tanah campuran.  $\phi$  Dengan menggunakan analisis regresi linier berganda, didapatkan korelasi parameter kuat geser ( $c$  dan  $\phi$ ) antara hasil pengujian *traksial*, pengujian geser langsung, dan sifat-sifat fisik tanah. Nilai kohesi hasil pengujian *traksial* lebih besar 1,1 – 1,3kg/cm<sup>2</sup> daripada nilai kohesi uji geser langsung untuk kondisi basah dengan selisih rata-rata 1,26kg/cm<sup>2</sup> dan 0,7 – 0,9kg/cm<sup>2</sup> untuk kondisi kering dengan selisih rata-rata 0,892kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai sudut geser hasil pengujian geser langsung untuk kondisi basah lebih besar 24° – 42° daripada sudut geser uji *traksial* dengan selisih rata-rata 35,138° dan

untuk kondisi kering lebih besar  $1,7^\circ - 19,7^\circ$  daripada sudut geser uji *triaksial* dengan selisih rata-rata  $11,56^\circ$ .

## 2.2 Klasifikasi Tanah

Secara umum, tanah adalah permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan. Sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam mekanika tanah dimaksudkan untuk memberikan keterangan mengenai sifat – sifat geologis dari tanah. Hasil dari penyelidikan sifat – sifat tanah digunakan untuk mengevaluasi masalah - masalah tertentu seperti :

1. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan *kompresibilitas* tanah, yang dapat digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi seperti teori Terzaghi atau teori lainnya.
2. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien *permeabilitas*, digunakan dengan teori hukum Darcy dan jaring arus ( *flownet*) untuk menenukan debit aliran yang lewat struktur tanah.
3. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, dengan menentukan kuat geser tanah, digunakan substitusikan dalam rumus statika (stabilitas lereng).

Klasifikasi keteknikan yang paling banyak digunakan adalah klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*. Klasifikasi USCS memiliki tiga kelompok utama, yaitu tanah dengan ukuran partikel kasar (mengandung pasir dan kerikil), partikel halus (tanah lempung dan liat). Dan tanah dengan kadar organik tinggi (misal tanah gambut). Sistem tanah untuk keteknikan lainnya yaitu

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), Darwis 2018.

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan sifat – sifat indeks tanah yang sederhana seperti gradasi butiran tanah dan nilai – nilai batas *Atterberg* sebagai petunjuk kondisi plastisitas tanah, hal ini dikarenakan tanah tidak tersedimentasi, sehingga partikel – partikel tanah mudah untuk dipisah - pisahkan karena variasi sifat dan karakteristik tanah. Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah.

### **2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)**

Sistem klasifikasi AASHTO ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145).

Klasifikasi tanah dengan cara AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), mempunyai tujuan agar kita dapat dengan mudah memilih material tanah untuk menentukan lapisan dasar (*subbase*) dan lapisan dasar (*subgrade*). Pemilihan tanah tersebut, tentunya didasarkan atas hasil uji tanah dan apabila kita telah mempunyai pengalaman lapangan dalam pembuatan konstruksi *subgrade* maka pemilihan tanah sangat mudah dilakukan. Terdapat pada gambar 1.

Klasifikasi umum	Tanah berbutir atau granular ( $\leq 35\%$ total contoh uji lolos ayakan No.200 atau 0,075 mm)						Material lanau-lempung ( $> 35\%$ total contoh uji lolos ayakan No.200 (0,075 mm))			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Kelompok Klasifikasi	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				
Prosentase lolos ayakan No. 10 (2 mm)	Maks 50									
No. 40 (0,425 mm)	Maks 30	Maks 50								
No. 200 (0,075 mm)	Maks 15	Maks 25	Min 51							
Karakteristik yang lolos butir lolos No. 40 (0,425 mm)			Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min.36	Min.36	Min.36
Batas cair (LL)				Maks 40	Min 41	Min 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Min 40
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Maks 11	Min 11	Maks 10	Maks 10	Maks 11
Jenis material yang dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir kelanauan atau berlempung			Tanah kelanauan		Tanah berlempung	
Indeks Group	0		0	0			Maks 4	Maks 8	Maks 12	Maks 16
Penilaian Sebagai tanah Dasar	Baik sekali sampai baik						Biasa sampai jelek			

Sumber: (Samtani &amp; Nowatski, 2006)

\*Untuk A-7-5,  $PI \leq LL - 30$  dan A-7-6,  $PI > LL - 30$ 

Gambar 1. Klasifikasi Tanah dengan Sistem AASHTO sesuai AASHTO M 145 (atau ASTM D3282)

Sistem klasifikasi AASHTO dibuat dengan mempertimbangkan kriteria sebagai berikut (Samtani & Nowatski, 2006) :

1. Ukuran butir tanah
  - a. Kerikil : *fraksi* melewati saringan 75-mm (3-inch ) dan tertahan pada saringan No. 10 (2-mm).
  - b. Pasir : *fraksi* melewati saringan No 10 (2 mm) dan tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm)
  - c. Lumpur dan lanau : *fraksi* melewati saringan no 200
2. Plastisitas: Tanah disebut tanah berlumpur (*silty*) ketika *fraksi* halus tanah memiliki indeks plastisitas  $< 10$ . Sedangkan tanah lempung (*clay*) adalah ketika *fraksi* halus tanah memiliki indeks plastisitas 11 atau lebih.
3. Bongkahan Batuan (*boulder*) dan Kerakal/Berangkal (*cobbles*) yaitu ukuran lebih besar dari 75 mm yang diuji, maka harus dipisahkan dari bagian sampel tanah untuk mengklasifikasinya dan persentase material tersebut dicatat.

Sistem klasifikasi AASHTO jenis berbutir kasar (*granuler soils*) berguna

untuk menentukan kualitas tanah Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Semakin kecil angkanya, semakin baik untuk bahan *subgrade* jalan, dan sebaliknya semakin besar angkanya semakin jelek untuk *subgrade*. Kecuali pada tanah dalam group A-3, lebih baik dari pada semua jenis tanah dalam group A-2 sebagai bahan *subgrade* jalan, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kelompok Klasifikasi AASHTO Tanah *Granuler* ( Mulyono, T 2017).

Kelompok	Deskripsi
A-1, A-2, dan A-3	Tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no.200
A-4, A-5, A-6, dan A-7	Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan no. 200 (sebagian besar adalah lanau dan lempung).

Untuk jenis tanah yang berbutir halus (*finer soils*) terbagi atas empat kelompok/klasifikasi, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A4	A5	A6	A7 A7-5 A7-6
Analisis Ayakan (% lolos)				
No. 10	-	-	-	-
No. 40	-	-	-	-
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40				
Batas Cair (LL)	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sbg bahan tanah dasar	Biasa sampai Jelek			

Gambar 2. Kelompok Klasifikasi AASHTO Tanah *finer soils* ( Darwis, 2018).

Kelompok A7 dibagi atas A7 – 5 dan A7 – 6, bergantung pada batas plastisitasnya (PL) :

1. Untuk  $PL > 30$  : klasifikasinya A7-5
2. Untuk  $PL < 30$  : klasifikasinya A7-6



Pengujian tanah yang diperlukan dalam klasifikasi ini adalah “analisis saringan” dan “uji batas-batas *Atterberg*”. Selanjutnya dihitung indeks kelompok (group index – GI), yang digunakan untuk mengelompokkan tanah – tanah. Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$GI = (F-35) [0,2+0,005(LL-40)] + (F-15)(PI-10)$$

Yang mana :

F = Persen lolos saringan No.200

LL = Batas cair

PI = Indeks Plastisitas

### 2.2.2 Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Klasifikasi tanah menggunakan *The Unified Soil Classification System* (USCS) untuk kebutuhan teknik banyak digunakan dengan dasar ukuran butir partikel tanah, gradasi dan plastisitas tanah. Sistem ini awalnya diperkenalkan oleh *Casagrande*, 1942 yang dipergunakan untuk pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Sistem ini disempurnakan oleh *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952. Saat ini, sistem klasifikasi USCS digunakan secara luas oleh para ahli teknik termasuk Indonesia yang mengadopsi standar ASTM D2847 menjadi SNI 03-6371-2000. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

- a. Tanah berbutir - kasar (*coarse-grained-soil*)
  1. Tanah kerikil dan pasir di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.
  2. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S.

G = untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil

S = untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.

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

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

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS seperti tabel 2.

Tabel 2. Simbol Klasifikasi USCS ( Mulyono, T. 2017 ).

Simbol	Deskripsi
W	<i>Well Graded</i> ( tanah dengan gradasi baik).
P	<i>Poorly Graded</i> ( tanah dengan gradasi buruk).
L	<i>Low Plasticity</i> ( plastisitas rendah, $LL < 50$ )
H	<i>High Plasticity</i> ( plastisitas tinggi, $LL > 50$ )

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan

Faktor – faktor dibawah ini :

- a. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah *fraksi* halus).
- b. Persentase *fraksi* kasar yang lolos ayakan No.40.
- c. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) untuk tanah dimana 0 – 12% lolos ayakan No. 200.
- d. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lolos ayakan No. 200).

Menunjukkan bahwa sistem klasifikasi tanah yang ditentukan dengan sistem USCS, terdapat pada gambar 3.

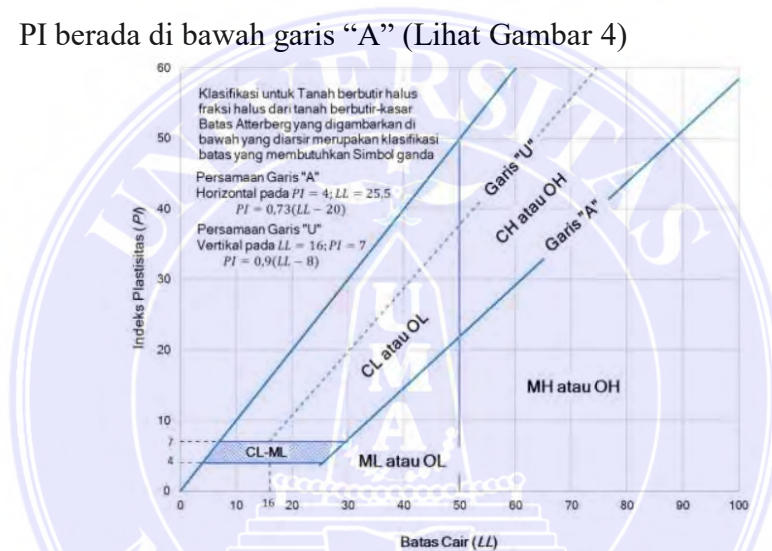
Kriteria untuk menetapkan Simbol-Symbol dan Nama-nama grup menggunakan pengujian Laboratorium <sup>1</sup>				Klasifikasi Tanah		
				Simbol	Nama Grup <sup>2</sup>	
TANAH BERBUTIR KASAR	Kerikil	Kerikil bersih	$C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3^C$	GW	Kerikil bergradasi baik <sup>D</sup>	
Lebih Dari 50% Material Tertahan Pada Saringan No. 200 (0,075 mm)	Lebih Dari 50% Material Tertahan Pada Saringan No. 4 (4,75 mm)	Butiran halus < 5% <sup>E</sup>	$C_u < 4$ dan/atau $1 \leq C_c \leq 3^C$	GP	Kerikil bergradasi jelek <sup>D</sup>	
		Kerikil dengan butir halus $\leq 12\%$	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	GM	Kerikil kelanauan ( <i>silty gravel</i> ) <sup>D, F, G</sup>	
		Kerikil dengan butir halus > 12% <sup>E</sup>	Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Kerikil lempungan ( <i>clayey gravel</i> ) <sup>D, F, G</sup>	
	Pasir	Pasir bersih	$C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3^C$	SW	Pasir bergradasi baik <sup>H</sup>	
	Lebih Dari 50% Material Lolos Pada Saringan No. 4 (4,75 mm)	Butiran halus < 5% <sup>F</sup>	$C_u < 6$ dan/atau $1 \leq C_c \leq 3^C$	SP	Pasir bergradasi jelek <sup>H</sup>	
		Pasir dengan butir halus $\leq 12\%$ <sup>F</sup>	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	SM	Pasir kelanauan ( <i>silty sand</i> ) <sup>F, G, H</sup>	
Kerikil dengan butir halus > 12% <sup>F</sup>		Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Pasir lempungan ( <i>clayey sand</i> ) <sup>F, G, H</sup>		
TANAH BERBUTIR HALUS	Lempung dan Lempung Batas cair < 50	Non-Organik	$PI > 7$ , saat di Plot pada/atau di atas garis "A" <sup>J</sup>	CL	Lempung kurus <sup>K, L, M</sup>	
Lempung dan Lempung Batas cair < 50		Non-Organik	$PI < 4$ , saat di Plot di bawah garis "A" <sup>J</sup>	ML	Lanau <sup>K, L, M</sup>	
		Organik	$\frac{\text{Batas cair} - \text{lempung}}{\text{Batas cair} - \text{Tidak kering oven}} < 0,75$	OL	Lempung organik <sup>K, L, M, N</sup> Lanau Organik <sup>K, L, M, O</sup>	
Lebih Dari 50% Material Lolos Pada Saringan No. 200 (0,075 mm)		Lempung dan Lempung Batas cair $\geq 50$	Non-Organik	$PI$ saat di Plot pada/atau di atas garis "A" <sup>J</sup>	CH	Lempung gemuk <sup>K, L, M</sup>
			Non-Organik	$PI$ saat di Plot di bawah garis "A" <sup>J</sup>	MH	Lanau elastis <sup>K, L, M</sup>
		Lempung dan Lempung Batas cair $\geq 50$	Organik	$\frac{\text{Batas cair} - \text{lempung}}{\text{Batas cair} - \text{Tidak kering oven}} < 0,75$	OH	Lempung organik <sup>K, L, M, P</sup> Lanau organik <sup>K, L, M, Q</sup>
	Organik					
TANAH ORGANIK YANG TINGGI	Secara primer terdiri dari zat-zat organik, berwarna gelap dan berbasis organik ( <i>organic odor</i> )			PT	Gambut	

Gambar 3. Klasifikasi USCS ( Mulyono, T. 2017 )

- Berdasarkan material lolos saringan 3 inci (75 mm)
- Apabila contoh lapangan mengandung bongkahan dan atau kerangka, tambahkan “dengan bongkahan dan atau kerakal” pada nama kelompok
- $C_u$  = Koefisien kelengkungan,  $C_u = D_{60}/D_{10}$  dan Koefisien keseragaman  $C_c = (D_{30})^2/(D_{10}D_{60})$

- d. Apabila tanah mengandung  $> 15\%$  pasir, tambahkan “dengan pasir” pada nama kelompok
- e. Kerikil-kerikil dengan butiran halus  $5\%$  sampai  $12\%$  diperlukan symbol ganda:
- GW – GM Kerikil bergradasi baik dengan lanau
- GM – GC Kerikil bergradasi baik dengan lempung
- GP – GM Kerikil bergradasi jelek dengan lanau
- GP – GC Kerikil bergradasi jelek dengan lempung
- f. Apabila butiran halus diklasifikasikan sebagai CL – ML gunakan symbol ganda GC – GM atau SC – SM.
- g. Apabila butiran halus adalah organic, tambahkan “dengan butiran halus organic” pada nama kelompok
- h. Apabila tanah mengandung  $> 15\%$  kerikil, tambahkan “dengan kerikil” pada nama kelompok
- i. Pasir-pasir dengan butiran halus  $5\%$  sampai  $12\%$  diperlukan symbol ganda:
- SW – SM Pasir bergradasi baik dengan lanau
- SW – SC Pasir bergradasi baik dengan lempung
- SP – SM Pasir bergradasi jelek dengan lanau S
- P – SC Pasir bergradasi jelek dengan lempung
- j. Apabila batas-batas Atterberg berada di dalam daerah yang diarsir, tanah adalah lempung lanauan CL – ML .
- k. Apabila tanah mengandung  $15\%$  s/d  $29\%$  tertahan saringan No. 200, tambahkan “dengan pasir” atau “dengan kerikil” mana yang paling domina

- l. Apabila tanah mengandung  $> 30\%$  tertahan saringan No. 200 dan dominant pasir, tambahkan “pasiran” pada nama kelompok M Apabila tanah mengandung  $> 30\%$  tertahan saringan No. 200 dan dominant kerikil, tambahkan “kerikilan” pada nama kelompok
- m.  $PI \geq 4$  dan berada pada atau di atas garis “A” (Lihat Gambar 4)
- n.  $PI < 4$  dan berada di bawah garis “A” (Lihat Gambar 4)
- o. PI berada pada atau di atas garis “A” (Lihat Gambar 4)
- p. PI berada di bawah garis “A” (Lihat Gambar 4)



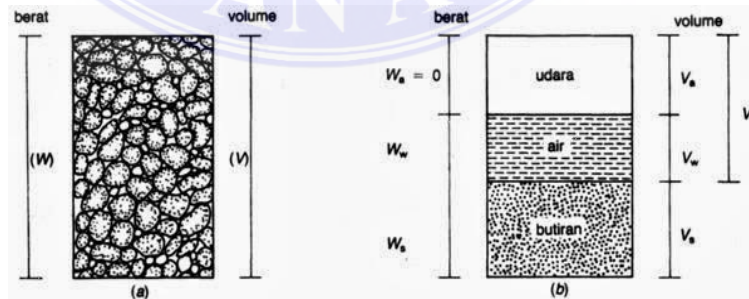
Gambar 4. Bagan Plastisitas (Mulyono, T. 2017)

### 2.3 Komposisi Tanah

Sifat tanah dapat dibedakan menjadi dua yaitu sifat-sifat indeks (*index properties*) menunjukkan sifat - sifat tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis (*engineering properties*) seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembangkan, dan permeabilitas yang didasarkan atas *Standard American Society of Testing and Materials (ASTM)* atau *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

Pengujian sifat fisik tanah antara lain berat isi (*unit weight*), ukuran butir (*grain size*), kadar air (*water content*), batas – batas (*atterberg limit*), berat jenis (*specific gravity*). Sedangkan pengujian mekanis antara lain UU *Triaxial Test* dan *direct shear test*. Tanah tersusun dari butiran tanah atau partikel lainnya dan rongga-rongga atau pori di antara partikel butiran tanah. Rongga-rongga terisi sebagian atau seluruhnya dengan air atau zat cair lainnya. Rongga-rongga tanah yang tidak terisi oleh air atau zat cair akan terisi oleh udara atau bentuk lain dari gas. Volume yang ditempati oleh bagian besar tanah pada umumnya termasuk bahan penyusun lainnya yaitu bagian padat, cair, dan gas (udara) yang selanjutnya dikenal sebagai sistem tiga fase tanah (*three-phase systems*). Tiga fase elemen tanah terdiri dari 3 sebagai berikut:

1. Tanah kering, yang terdiri dari dua bagian, seperti butir – butir tanah dan pori – pori udara
2. Tanah jenuh, yang terdiri dari 2 bagian, seperti bagian padat atau butiran & air pori.
3. Tanah tidak jenuh terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat atau butiran, pori –pori udara, dan air pori. Terdapat pada gambar 5.



Gambar 5. Tiga Fase Elemen Tanah (Imamzuhri,2012)

Hubungan volume – berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_u \dots \dots \dots ( 1 )$$

Dimana :

$V_s$  = Volume butiran padat

$V_v$  = Volume pori

$V_w$  = Volume air di dalam pori

$V_a$  = Volume udara didalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan dengan :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots( 2 )$$

Dimana :

$W_s$  = Berat butiran padat

$W_w$  = Berat air

#### 2.4 Sifat Fisik Tanah

Parameter – parameter sifat fisik tanah dapat diketahui melalui penyelidikan tanah baik dilapangan maupun laboratorium. Dalam penelitian ini, pengujian sifat – sifat fisik tanah meliputi kadar air (*water content*), berat jenis (*specific gravity*), batas – batas (*atterberg limit*), analisa saringan dan hidrometer (*sieve analysis and hydrometer*) sebagai berikut :

##### 1. Kadar Air (*Water Content*) ASTM D.2216

Kadar air merupakan sebagai rasio berat air dalam sampel dengan berat padatan. Sampel basah ditimbang, kemudian oven - kering untuk berat konstan pada suhu sekitar 230° F (110° C) . Berat setelah pengeringan adalah berat padatan. Perubahan berat badan, yang telah terjadi selama pengeringan, setara dengan berat air. Untuk tanah organik, suhu pengeringan berkurang dari sekitar 140° F (60° C) kadang-kadang dianjurkan. Tes akan dilakukan sesuai with ASTM D 2216-92,. Kadar air

yang berharga dalam menentukan sifat-sifat tanah dan dapat dikorelasikan dengan parameter lainnya.

- a. Kadar air ( *water content* ) adalah perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) di dalam masa tanah. Terdapat pada tabel 3.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots( 3 )$$

Tabel 3. Kadar air (ASTM D-2216-17)

Jenis Tanah	Kadar air (%)
Pasir lembab	2 – 10 %
Lempung batu	10 – 20 %
Loss	20 – 30 %
Loam (geluh)	20 – 40%
Lempung	20 – 60 %
Tanah organik	50 – 100 %

- b. Derajat kejenuhan adalah perbandingan antar volume air ( $V_w$ ) dengan volume total rongga pori ( $V_v$ ).

$$w = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots\dots\dots( 4 )$$

Dimana :

$w$  : Kadar air

$W_w$  : Berat air

$W_s$  : berat tanah kering

$V_w$  : Volume air

$V_v$  : Volume total rongga pori

Apabila tanah dalam kondisi jenuh air, maka nilai  $S = 1$ , Tabel 4.

Tabel 4. Derajat Kejenuhan dan Konsistensi Tanah (Darwis,2018)

Konsistensi Tanah	Derajat Kejenuhan (S)
Tanah Kering	0,00
Tanah Agak Lembab	>0 – 0,25
Tanah Lembap	0,26 – 0,50
Tanah Sangat Lembab	0,51 – 0,75
Tanah Basah	0,76 – 0,99
Tanah Jenuh Air	1,00



2. Berat Jenis (*Specific Gravity*) ASTM D.854-92

Berat jenis tanah,  $G_s$ , didefinisikan sebagai rasio massa di udara dari volume tertentu partikel tanah dengan massa di udara dari volume yang sama dari air suling bebas gas pada suhu dinyatakan (biasanya  $68^\circ F \{ 20^\circ C \}$ ). Gravitasi spesifik ditentukan dengan cara *piknometer* dikalibrasi, dimana massa dan suhu tanah / sampel air suling diukur. Tes akan dilakukan sesuai with ASTM D 854-92,

" Cara uji untuk Berat Jenis dari Tanah ". Metode ini digunakan untuk sampel tanah terdiri dari partikel kurang dari No 4 saringan (4,75 mm). Untuk partikel yang lebih besar dari saringan ini, gunakan prosedur Berat Jenis dan Penyerapan *agregat* kasar (ASTM C 127).

Berat jenis (*specific gravity*) tanah ( $G_s$ ) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur  $4^\circ C$ . Pengujian ini dimaksudkan sebagai acuan dalam pengujian berat jenis (*specific gravity*) dengan tujuan untuk memperoleh besaran (angka) berat jenis tanah yang akan digunakan selanjutnya untuk penentuan parameter lainnya seperti sifat tanah (SNI 03-1964-1990)

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots ( 5 )$$

Berat jenis  $G_s = 2,67$  biasanya digunakan untuk tanah tidak berkohesi atau tanah *granular*, sedangkan untuk tanah-tanah tidak kohesif tidak mengandung bahan organik  $G_s$  berkisar diantara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan pada tabel 5.

Tabel 5. Berat Jenis Tanah (Hardiyatmo 2012)

Macam Tanah	Berat Jenis $G_s$
Kerikir	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68

Lanjutan Tabel

Lanau tak organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung tak organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,85

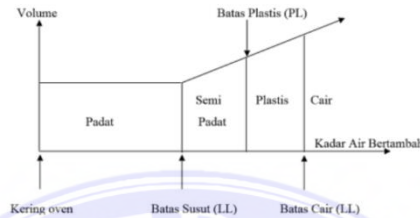
### 3. Batas – Batas (*Atterberg Limit*) ASTM D.4318

Pengujian batas – batas atterberg in dilakukan untuk mengetahui konsistensi tanah yang diindikasikan oleh kadar air pada batas cair (*liquid limit*), plastis (*plastic limit*), dan susut (*shrinkage limit*). Batas cair ditentukan dengan menempatkan pada pasta tanah di mangkuk kuningan dan kemudian terukir di tengah-tengah dengan penggores standar menjadi dua bagian dari tanah untuk jarak 0,5 inci (13 mm) sepanjang bagian bawah alur memisahkan bagian, kemudian mangkuk dijatuhkan 25 kali untuk menempuh jarak 0,4 inci (10 mm) pada tingkat 2 tetes / detik.

Batas plastis ditentukan oleh memastikan kadar air terendah di mana materi dapat digulung menjadi benang 0,125 inci (3,2 mm) dengan diameter tanpa runtuh. Tes akan dilakukan sesuai dengan ASTM D 4318 , Nilai-nilai ini berguna dalam klasifikasi tanah dan telah berkorelasi dengan parameter lainnya. Batas – batas *atterberg* merupakan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan kompresibilitas tinggi sehingga sulit untuk memadatkan.

Pada kadar air rendah yaitu keadaan kering. Jika kadar airnya bertambah, lempung akan menjadi lunak dan disebut memasuki tahap semi plastis, dengan menambah kadarnya maka akan bertambah lunak sampai menjadi plastis. Pada tahap plastis, lempung dapat mengalami perubahan bentuk

tanpa terjadi retak atau pecah dan tanpa mengubah volumenya. Jika kadar airnya bertambah maka lempung akan menjadi sangat lunak berupa cair benda plastis. Menunjukkan semakin besar batas cair dan indeks plastisitas maka semakin kecil nilai batas susut dan basemaktas plastis pada gambar 6.



Gambar 6. Batas – Batas Atterberg (supriyono, 2000)

- Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antar keadaan cair dan keadaan plastis.
- Batas plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.
- Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas air dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(6)$$

Indeks plastisitas (PI) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai indeks plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung pada tabel 6.

Tabel 6. Hubungan Nilai Indeks Plastisitas (Darwis, 2018)

IP	Sifat	Ragam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7 – 17	Plastisitas Rendah	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas Tinggi	Lembung	Kohesif

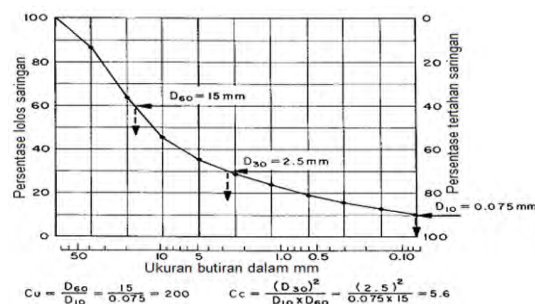
#### 4. Analisis Saringan dan Hidrometer ASTM D.422-63

Tes ini akan dilakukan dalam dua tahap: analisis saringan untuk tanah kasar (pasir, kerikil) dan analisis hidrometer untuk tanah berbutir halus (lempung, *silts*). Tanah yang mengandung kedua jenis diuji secara

berurutan, dengan materi melewati Nomor 200 saringan (0.075 mm atau lebih kecil) dianalisis dengan hidrometer. Uji analisis saringan menyediakan pengukuran langsung dari distribusi ukuran partikel tanah dengan menyebabkan sampel untuk melewati serangkaian layar kawat dengan bukaan semakin kecil ukuran dikenal. Jumlah bahan ditahan pada setiap saringan ditimbang. Lihat ASTM C 136, "Metode Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar". Uji hidrometer akan dilakukan berdasarkan UU Stokes. Diameter partikel tanah didefinisikan sebagai diameter sebuah bola yang memiliki satuan massa yang sama dan yang jatuh pada kecepatan yang sama seperti partikel. Dengan demikian, distribusi ukuran partikel diperoleh dengan menggunakan hydrometer untuk mengukur perubahan berat jenis suspensi tanah-air sebagai partikel tanah menetap dari waktu ke waktu. Hasilnya akan dilaporkan pada gabungan rencana distribusi ukuran butir sebagai persentase dari sampel kecil dari, berat, versus log diameter partikel.

Kerikil termasuk bergradasi baik bila :

- Koefisien keseragaman  $C_u : D_{60}/D_{10} > 4$
- Koefisien gradasi  $C_c : (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$  diantara 1 – 3
- Pasir termasuk bergradasi baik bila  $C_u > 6$  dan  $CC : 1 - 3$



Gambar 7. Distribusi Ukuran Partikel (Binamarga,2015)

Gradasi digunakan untuk menentukan sifat teknik terbatas pada material berbutir kasar. Pada material seragam yang bergradasi buruk Pada material seragam yang bergradasi buruk, *permeabilitas* meningkat secara kuadrat dari ukuran efektif butir ( $D_{10}$ ). Untuk material tersebut, *kompresibilitasnya* biasanya kecil kecuali pada pasir yang sangat halus. Kekuatan geser hampir seluruhnya tergantung dari gesekan internal dibandingkan dengan ukuran butir. Material seragam biasanya mempunyai sifat mudah digali dan dipadatkan. Rentang ukuran tanah berbutir kasar yang besar akan menyebabkan:

- a. Permeabilitas berkurang
- b. Kompresibilitas menurun
- c. Kekuatan geser meningkat

## 2.5 Tanah Lempung

Lempung (*clay*) atau tanah berbutir halus merupakan partikel tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200 (0,075mm) terdapat pada tabel 5. Sifat – sifat yang dimiliki tanah lempung seperti sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas, permeabilitas lempung sangat rendah, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat atau bersifat plastis pada kadar air sedang. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengkat (kohesif) dan lunak.

Konsistensi lempung dan kohesif biasanya dinyatakan dengan istilah lunak, sedang, kaku dan keras. Ukuran kuantitatif konsistensi yang paling langsung adalah beban persatuan luas dimana contoh tanah bebas (*unconfined*) berbentuk silinder atau prisma runtuh dalam uji pemampatan sederhana.

Besaran ini dikenal sebagai kekuatan kompresif bebas tanah dan nilai kompresif yang berkaitan dengan analisa derajat konsistensi seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Konsistensi lempung dan bentuk kekuatan kompresif (NSPM Kimpraswil, 2002).

Konsistensi	Kekuatan Kompresif Bebas Cu (k/pa)
Sangat lunak	$\leq 12,5$
Lunak	12,5 – 25
Sedang	25 – 50
Kaku	50 – 100
Sangat kaku	100 – 200
Keras	$\geq 200$

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kekakuan tanah non-koheusif (*granuler*) sebagai contoh, kuat geser tanah pasir mendekati sama pada kondisi kering maupun jenuh air. Tetapi, jika air berada pada lapisan pasir yang tidak padat, beban dinamis seperti gempa bumi dan getaran lainnya sangat mempengaruhi kuat gesernya. Sebaliknya tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah.

Ada beberapa faktor – faktor yang mempengaruhi sifat tanah yaitu faktor komposisi yang meliputi bentuk dan ukuran distribusi partikel dan komposisi air pori. Uji faktor komposisi ini menggunakan tanah tak terganggu, sedangkan faktor lingkungan meliputi kadar air, kepadatan, tekanan samping (*confining pressure*, *temperature*, ikatan/*fabric*) dan keberadaan air. Uji faktor lingkungan menggunakan tanah terganggu. Sifat – sifat yang dimiliki tanah lempung sebagai berikut :

- a. Ukuran butir halus, yaitu kurang dari 0,002mm.
- b. Permeabilitas rendah
- c. Kenaikan air kapiler tinggi (air yang mengisi pori-pori).

- d. Bersifat sangat kohesif
- e. Kadar kembang susut yang tinggi
- f. Proses konsolidasi lambat

## 2.6 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan adanya perlawanan internal tanah terhadap persatuan luas terhadap keruntuhan seperti adanya gaya geser yang dialami karena *dilatancy & contraction*. Kuat geser tanah diukur dengan 2 parameter tanah sebagai berikut :

1. Pada tanah berbutir halus (*kohesif*) seperti lempung, lempung berlanau, lempung berpasir dan lanau, kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antar butir – butir tanah (*c* tanah)
2. Pada tanah berbutir kasar (*non - kohesif*), komponen *kohesi* ( $c=0$ ) sehingga kuat gesernya hanya bergantung pada gesekan antar butir – butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam ( $\phi$  tanah). Contoh dari tanah *non kohesif* adalah pasir padat, kerikil dan batuan.

Tanah mengalami keruntuhan akibat ketidakmampuan tanah dalam menahan beban yang diterimanya, sehingga terjadinya keruntuhan karena adanya geseran. Kuat geser tanah dipengaruhi oleh beberapa factor dilapangan :

1. Keadaan tanah : angka pori, ukuran butiran dan bentuk.
2. Jenis tanah : pasir, berpasir, kerikil, lempung, lanau dan sebagainya.
3. Kadar air : terutama pada lempung.
4. Jenis pembebanan dan tingkatnya
5. Anisotropis : adanya perbedaan tegangan antara arah vertical dan horizontal.

Teori *Mohr* menguraikan bahwa kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser (Das, 1991). Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada sebuah bidang keruntuhan dinyatakan menurut persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

$\tau$  = Tegangan geser pada saat terjadi keruntuhan atau kegagalan

$\sigma$  = Tegangan normal pada saat kondisi tersebut

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir - butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Harry Cristady, 2002). Apabila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya.
2. Sudut geser tergantung gesekan antara butir – butir tanah.

Coulomb (1776) mendefinisikan fungsi  $f(\sigma)$  sebagai :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (8)$$

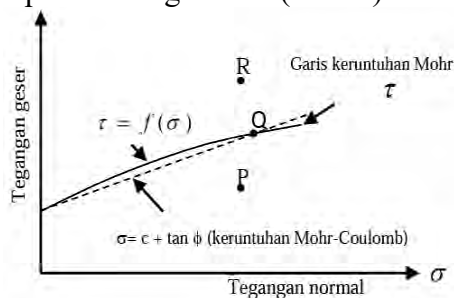
Dimana :

$\tau$  = Kuat geser tanah ( $\text{Kn/m}^2$ )

$C$  = Kohesi Tanah ( $\text{Kn/m}^2$ )

$\phi$  = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{Kn/m}^2$ ) terdapat pada gambar 8.



Gambar 8. Kriteria Keruntuhan *Mohr - Coulomb* (Hardiyatmo, 2002)



Kriteria keruntuhan / kegagalan Mohr-Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan pernah dicapai, karena sebelum mencapai titik R sudah terjadi keruntuhan. Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb dalam bentuk efektif karena tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori.

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \operatorname{tg} \varphi' \text{ karena } \sigma' = \sigma - \mu \dots \dots \dots (9)$$

Maka persamaan menjadi :

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \dots \dots \dots (10)$$

dengan :

$\tau$  = tegangan geser ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma'$  = tegangan normal efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

$c'$  = kohesi tanah efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi$  = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari uji - uji laboratorium serta benda uji yang diperiksa laboratorium, biasanya dilakukan dengan besar beban yang, ditentukan lebih dulu dan dikerjakan dengan tipe peralatan yang khusus. Beberapa factor yang mempengaruhi kuat geser tanah yang di uji dilaboratorium seperti :

- a. Kandungan mineral dan butiran tanah
- b. Bentuk partikel
- c. Angka pori dan kadar air
- d. Sejarah tegangan yang pernah dialami

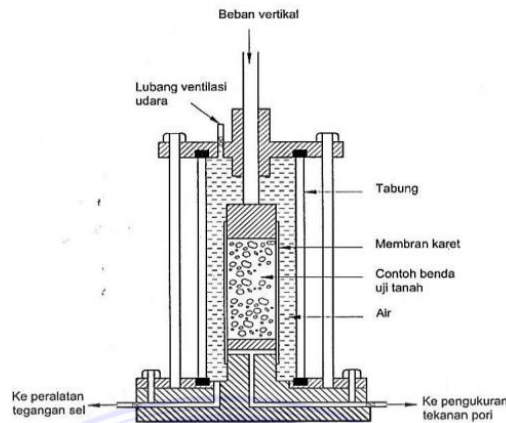
- e. Tegangan yang ada dilokasi (di dalam tanah)
- f. Perubahan tekanan selama pengambilan contoh dari dalam tanah
- g. Tegangan yang dilakukan sebelum pengujian
- h. Cara pengujian
- i. Kondisi drainase yang dipilih, seperti drainase terbuka (*drained*) atau drainase tertutup (*undrained*)
- j. Tekanan air pori yang ditimbulkan
- k. Kriteria yang diambil untuk penentuan kuat geser

Faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah (a – e ) berhubungan dengan kondisi aslinya tidak dapat dikontrol, tetapi dapat diilai dari hasil pengamatan dilapangan, pengukuran dan kondisi geologi. Pada (f) tergantung dari kualitas benda uji dan penanganan benda uji dalam persiapan pengujian. Sedangkan untuk (g - k) tergantung dari cara pengujian yang dipilih. Dalam menentukan parameter kuat geser tanah dapat dilakukan dengan beberapa jenis pengujian seperti uji triaksial (*triaxial test*), uji geser langsung (*direct shear test*) yaitu.

### 2.6.1 Uji Triaksial (*Triaxial Test*)

*Triaxial test* adalah pengujian kuat geser yang dilakukan untuk mengetahui nilai – nilai dari parameter seperti  $c$  (*kohesi*) dan  $\phi$  (sudut geser dalam), dalam tegangan total ataupun efektif yang mendekati keadaan aslinya dilapangan, serta sifat – sifat elastis tanah seperti modulus tegangan – regangan *modulus elastis* ( $E_s$ ), *Modulus geser* ( $G$ ), dan nilai banding angka *poisson* ( $\mu$ ). Kelebihan pada uji triaksial pada kondisi pengaliran yang dapat dikontrol, tekanan pori yang dapat diukur, dan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dapat

dikondisikan menjadi terkonsolidasi (Craig, 1989). Berikut skema alat uji *triaxial* pada gambar 9 .



Gambar 9. Skema alat uji *triaxial* (Hardiyatmo, 2002)

Pengujian geser triaksial pada sample tanah (benda uji) ditutup dengan membrane karet yang tidak tebal serta ditempatkan didalam satu bejana silinder berbahan *plastic* yang lalu bejana berisi air atau larutan *gliserin*. Di dalam bejana, benda uji akan memperoleh desakan hidrostatis. Untuk mengakibatkan terjadinya keruntuhan geser pada benda uji, tegangan aksial (vertikal) diberikan lewat piston vertical (tegangan *deviator*).

Tekanan pori yang dihasilkan di dalam sampel tanah selama pengujian, dapat diukur dengan alat trasnduser tekanan, atau dibaca melalui panel tekanan pori (*pore pressure*) sedangkan perubahan volume sampel selama pengujian, dibaca melalui panel perubahan volume (*volume change*). Pengujian triaksial terdiri dari 2 tahap (Hardiyatmo, 2002)

Tahap pertama :

- a. Sampel tanah diatur sedemikian rupa didalam sel *triaxial*
- b. Penerapan tekanan pengekok (*confining pressure*), yang dilakukan dengan mengatur tekanan air atau tekanan sel (*cell pressure*)
- c. Penerapan tekanan mula (*overburden pressure*), yang dilakukan dengan

memberikan tekanan dari ram pemuat, sesuai dengan kondisi mula saat tanah dilapangan.

Maksud dari pemberian tekanan pengekang, adalah untuk mengkondisikan sampel tanah untuk kembali pada kondisinya di lapangan, dimana kondisi tanah asli di lapangan menerima tegangan vertical ( $\sigma_v$ ) dan tegangan horizontal ( $\sigma_h$ ).

Yang mana :

$$\sigma_v = \sigma_0 = \gamma \cdot h ; \text{ sedangkan } \sigma_2 = \sigma_3 = K_0 \cdot \sigma_v \dots \dots \dots (10)$$

Oleh karena itu  $\sigma_0$  tahap pertama ini biasanya disebut tahap pemulihan.

Tahap kedua :

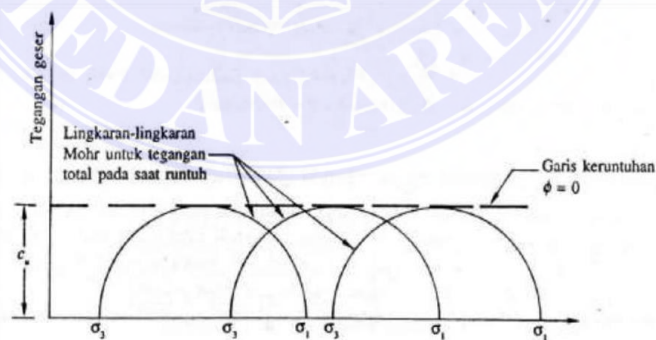
- a. Penerapan tegangan aksial tambahan (*deviator stress*), untuk menginduksi tegangan geser terhadap sampel. Tegangan aksial terus meningkat sampai sampel mengalami keruntuhan. Sedangkan tekanan pengekang atau *confining pressure* ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ) dikonstantakan, selama pengujian tahap kedua.
- b. Setiap interval aktual yang ditentukan dalam pengujian tahap kedua, dilakukan pembacaan ukuran-ukuran untuk deformasi atau regangan axial (*axial strain*), tekanan air pori (*pore pressure*), dan perubahan volume sampel (*volume change*).

Uji *triaksial* dapat dilakukan dengan 3 macam tergantung dari konsep seperti, pengujian *unconsolidated – undrained* (tanpa terkonsolidasi –tanpa drainasi/UU), *consolidated – undrained* (terkonsolidasi tanpa drainasi/CU), *consolidated – drained* (terkonsolidasi dengan drainasi/CD yaitu :

- a. *Unconsolidated Undrained Test* (UU test)

Pada uji triaksial *Unconsolidated-Undrained* atau *Quick Test* (pengujian cepat), benda uji yang umumnya berupa lempung mula-mula dibebani dengan beban normal, melalui penerapan tegangan *deviator* ( $\Delta\sigma$ ) sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan tegangan *deviator* selama penggeseran, air tak diizinkan keluar dari benda uji. Jadi, selama pengujian, katup drainase ditutup. Karena pada pengujian air tidak diizinkan mengalir ke luar, beban normal tidak ditransfer ke butiran tanahnya.

Keadaan tanpa drainase ini menyebabkan adanya kelebihan tekanan pori (*excess pore pressure*) dengan tidak ada tanahan geser hasil perlawanan dari butiran tanah. Pada kondisi tanah yang jenuh air, nilai sudut gesek internal tanah ( $\phi$ ) dapat mencapai nol, sehingga pada pengujiannya hanya memperoleh nilai kohesi ( $c$ ). Pada gambar 10, Menunjukkan selubung kegagalan tegangan total kondis UU untuk tanah lempung jenuh yang nilai  $\phi = 0$  maka garis keruntuhan mendatar.



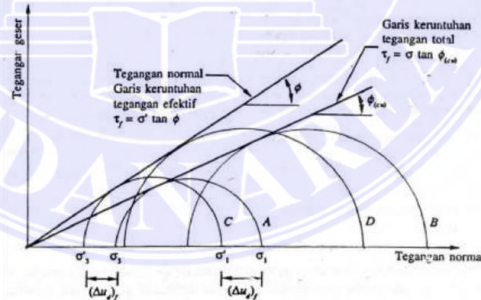
Gambar 10. Lingkaran Mohr pada Pengujian UU Triaksial (Unnes 2023)

Kohesi tanah lempung kondisi jenuh pada uji UU ditulis CU atau SU nilai kuat geser yg dihasilkan biasa disebut kuat kegeser undrained yaitu

$$Su = Cu = \frac{\Delta\sigma_f}{2} \dots\dots\dots(11)$$

b. *Uji triaksial consolidated – Undrained* (terkonsolidasi-tak terdrainase)

Pada uji triaksial *Consolidated-Undrained* atau *Consolidated Quick Test* (uji terkonsolidasi cepat), benda uji mula-mula dibebani dengan tegangan sel tertentu dengan mengizinkan air mengalir ke luar benda uji sampai konsolidasi selesai. Tahap selanjutnya, tegangan *deviator* diterapkan dengan katup drainase dalam keadaan tertutup sampai benda uji mengalami keruntuhan. Karena katup *drainase* tertutup, volume benda uji tidak berubah selama penggeseran. Pada pengujian dengan cara ini, akan terjadi kelebihan tekanan air pori dalam benda uji. Pengukuran tekanan air pori dapat dilakukan selama pengujian berlangsung. Nilai kuat geser tanah yang didapat merupakan nilai kekuatan setelah tanah terkonsolidasi dan pada saat air pori tidak terdrainasi. Keadaan tanpa drainase menyebabkan tekanan pori berlebihan (*excess pore pressure*). Terdapat pada gambar 11.

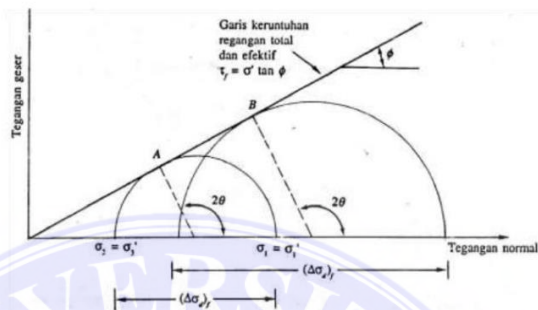


Gambar 11. Lingkaran Mohr dan Garis Keruntuhan *Triaksial CU* (Lusina, 2020)

c. *Uji triaksial consolidated – drained* (terkonsolidasi – drainase)

Pada uji triaksial *Consolidated – Drained*, mula-mula tegangan tertentu diterapkan pada benda uji dengan katup terdrainase terbuka sampai konsolidasi selesai. Setelah itu, dengan katup drainase tetap terbuka, tegangan *deviator* diterapkan dengan kecepatan yang rendah sampai

benda uji runtuh. Kecepatan pembebanan yang rendah dimaksudkan agar dapat menjamin tekanan air pori nol selama proses penggeseran. Pada kondisi ini seluruh tegangan selama proses pengujian tanah ditahan oleh gesekan antar butiran tanah. Terdapat pdah gambar 12.



Gambar 12. Lingkaran Mohr pada CD Triaxial (Lusina, 2020)

Hal-hal yang penting di dalam pengujian triaksial, antara lain :

1. Tahap pertama pengujian mensimulasikan di laboratorium kondisi lapangan (*in-situ condition*), bahwa tanah pada kedalaman yang berbeda mengalami tekanan efektif yang berbeda.
2. Konsolidasi akan terjadi jika tekanan air pori yang berkembang pada saat penerapan tekanan pengekanan diperbolehkan untuk menghilang. Jika tidak, tekanan efektif pada tanah adalah tekanan pengekanan (atau tekanan total) dikurangi tekanan air pori yang ada di dalam tanah. - Selama proses pembebanan (*shearing*), sampel tanah mengalami regangan aksial, dan perubahan volume atau perkembangan tekanan air pori terjadi. Besarnya tegangan geser yang bekerja berbeda, pada bidang yang berbeda dalam sampel tanah berbeda. - Dari kurva hasil uji *triaxial*, tegangan geser yang berada pada bidang keruntuhan disebut kekuatan geser.

Adapun Uji triaksial memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan uji geser langsung, antara lain :

1. Penampang sampel tanah dikenai tekanan yang seragam, sehingga regangan yang terjadi juga seragam.
2. Kombinasi tekanan pengekang (*confining pressure*) dan tekanan aksial (*deviator stress*) yang berbeda-beda dapat diterapkan.
3. Pengujian sampel berdrainase dan sampel tidak berdrainase (*undrained*) dapat dilakukan.
4. Tekanan air pori tetap dapat diukur pada kondisi dengan pengujian tak berdrainase (*undrained test*).
5. Perilaku tegangan -regangan secara lebih lengkap dapat ditentukan.

Adapun pengujian *triaksial* memiliki spesifikasi yang disesuaikan dengan tipe konstruksi tertentu dan tidak semua jenis pengujian triaksial sesuai semua kondisi pada tabel 5.

Tabel 5. Pemilihan Jenis Pengujian Triaksial (Ahmadi, 2021)

Jenis Tanah	Jenis Konstruksi	Jenis Tes dan kekuatan Geser
Kohesif	Jangka pendek (akhir masa konstruksi)	<i>Triaxial</i> UU atau CU untuk <i>undrained strength</i> dengan level tegangan yang sesuai
	Konstruksi bertahap	<i>Triaxial</i> CU untuk <i>undrained strength</i> dengan level tegangan yang sesuai
	Jangka panjang	<i>Triaxial</i> CU dengan pengukuran tekanan air pori atau triaksial CD untuk parameter kuat geser efektif
Granular	Semua jenis	Parameter <i>strength</i> $\phi'$ yang didapat dari uji lapangan atau <i>direct shear</i>
Material c - $\phi$	Jangka panjang	<i>Triaxial</i> CU dengan pengukuran tekanan air pori atau <i>triaxial</i> CD untuk parameter kuat geser efektif

Nilai-nilai kuat geser yang rendah terjadi pada pengujian dengan cara *Unconsolidate Undrained*. Pada tanah lempung yang jenuh air nilai sudut gesek

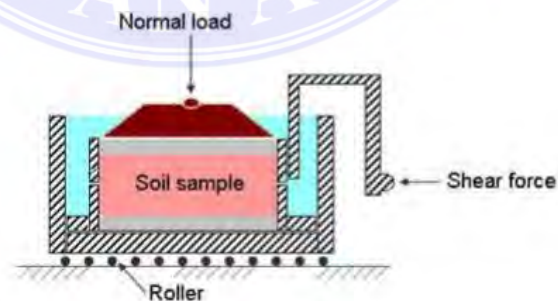


dalam ( $\emptyset$ ) dapat mencapai nol, sehingga pada pengujian hanya diperoleh nilai kohesinya.

### 2.6.2 Uji Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Kuat geser langsung (*Direct Shear Test*) umumnya dilakukan pada jenis tanah pasir (*granular*), Berdasarkan prinsip mekanika tanah nilai kohesi ( $c$ ) dari tanah pasir dan lanau anorganik yang nilainya sama dengan nol. Tanah lempung yang *terconsolidasi* normal harga  $c$  dianggap sama dengan nol sedangkan tanah lempung yang *terconsolidasi*  $c > 0$  (Das, 1995). Pengujian dapat dilakukan pada semua jenis tanah yaitu tanah asli (*undisturbed*) atau tanah terganggu (*disturbed*).

Pengujian geser untuk tanah pasir dan kerikil dapat digunakan metode cepat (*quick test*), dan biasanya dilakukan dalam kondisi kering, karena pada jenis tanah tersebut air pori tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan gesernya. Sedangkan untuk tanah liat, gaya geser harus dilakukan secara perlahan dengan penambahan gaya yang ditentukan (*slow test*), untuk mencegah terbentuknya tekanan pori berlebihan didalam massa tanah. Apabila tidak ada tekanan air pori berlebihan yang terjadi didalam tanah, maka tegangan total dan tegangan efektif akan sama besar. Terdapat gambar 13.



Gambar 13. Skema Pengujian *Direct Shear Test* (Darwis,2018)

Penerapan beban normal vertikal dilakukan bersamaan dengan penerapan gaya geser, namun yang ditambahkan secara bertahap hanya gaya geser, namun yang ditambahkan secara bertahap hanya gaya geser, sedangkan beban normal di-

atur konstan.

$$N = \sigma_0 \cdot A$$

Dimana :

A = luas penampang sampel

$$\sigma_0 = \gamma \cdot h$$

Gaya geser secara bertahap diterapkan pada arah horizontal, yang menyebabkan kedua bagian kotak akan bergerak satu sama lain. Besarnya gaya geser yang bekerja selalu diukur bersamaan dengan perpindahan geser yang terjadi akibat beban geser yang bekerja. Pada saat bersamaan perubahan ketebalan sampel ( $\Delta h$ ) juga diukur. Dari sejumlah sampel tanah yang diuji masing-masing di bawah beban normal yang berbeda. Kemudian nilai gaya geser maksimum yang dicapai pada saat sampel runtuh, kemudian diplot terhadap tegangan normal untuk setiap pengujian. Dari kurva yang menggambarkan hubungan gaya geser dengan tegangan normal tersebut, maka selimut keruntuhan (*failure envelope*) bisa digambarkan.

Apabila tidak ada tekanan air pori berlebih yang terjadi di dalam tanah, maka tegangan total dan tegangan efektif akan sama besar. Uji geser langsung memiliki beberapa keunggulan, antara lain :

- a. Mudah untuk menguji pasir dan kerikil.
- b. Sampel besar dapat diuji dalam kotak geser besar, karena sampel kecil biasanya memberikan hasil yang kurang akurat, karena ketidaksempurnaan kondisi yang dimiliki, seperti fraktur dan retakan, atau mungkin tidak benar-benar representatif.
- c. Sampel dapat digeser di sepanjang bidang yang tersedia (lebih luas), apabila kekuatan geser sampel cukup besar, sehingga membutuhkan bi -

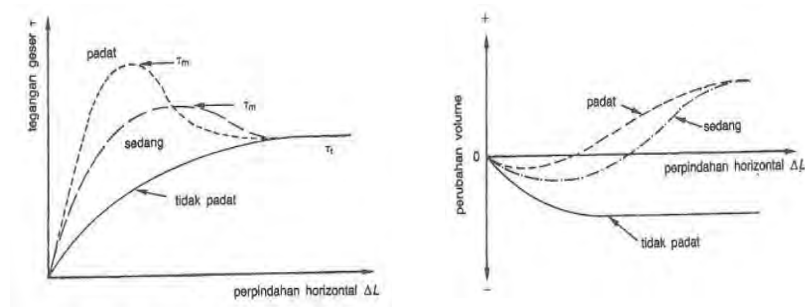
dang geser yang lebih panjang.

Sedangkan kelemahan dari uji geser langsung, antara lain :

- a. Bidang keruntuhan selalu dalam arah horizontal, padahal mungkin bidang tersebut bukanlah bidang terlemah dalam sampel. Keruntuhan tanah selalu terjadi secara progresif, yaitu dari ujung-ujungnya ke arah pusat sampel.
- b. Tidak dilengkapi dengan alat untuk mengukur tekanan air pori dalam kotak geser, dan oleh karena itu tidak mungkin dapat menentukan tekanan efektif pada pengujian kondisi undrained.
- c. Alat kotak geser tidak dapat memberikan kekuatan undrained yang dapat diandalkan, karena itu tidak mungkin untuk mencegah terjadinya drainase air pori yang terlokalisir keluar dari bidang geser.

### 2.6.3 Kuat Geser Langsung Tanah Pasir

Kelebihan tekanan air pori akibat adanya beban yang bekerja diatas tanah pasir dalam kondisi jenuh = 0. Hal ini disebabkan tanah pasir mempunyai permeabilitas besar, sehingga pada kenaikan beban, air pori, relative cepat menghambur keluar tanpa menimbulkan tekanan yang berarti. Jadi, dapat dianggap kondisi pembebanan pada tanah pasir akan berupa pembebanan pada kondisi terdrainase. Pada gambar 14 menunjukan sifat khusus dari hasil uji geser langsung pada tanah pasir tidak padat, sedang, dan padat



Gambar 14. Hasil Uji Tanah Geser Langsung pada Tanah Pasir (Hardiyatmo, 2002)

Pada pasir yang tidak padat (lepas), derajat penguncian antar butir kecil, sehingga kenaikan tegangan geser secara berangsur-angsur akan menghasilkan suatu nilai yang menuju nilai tegangan batas, dengan tidak ada nilai tegangan geser puncak. Tiap kenaikan tegangan geser, akan diikuti oleh pengurangan volume benda uji. Pada tegangan vertikal dan tegangan sel yang sama, nilai tegangan geser batas dan angka pori untuk pasir tidak padat dan pasir padat mendekati sama. Benda uji tanah pasir dikatakan pada nilai banding pori kritis jika tercapai keadaan volume benda uji yang tetap tidak berubah pada proses penggeseran. Pada tanah pasir, hanya kuat geser dari pengujian *drained*, relevan digunakan dalam praktek. Nilai kuat geser  $\phi$  ( $c' = 0$ ) pada masing – masing kondisi pasir pada tabel 8.

Tabel 8. Sudut Gesek dalam  $\phi'$  untuk Tanah Pasir.

Macam	Sudut Gesek dalam Efektif $\phi'$	
	Tidak Padat	Padat
Pasir bulat, seragam	27°	35°
Pasir gradasi baik, betuk bersudur	33°	45°
Kerikil berpasir	35°	50°
Pasir berlanau	27° - 30°	30° - 34°

#### 2.2.4 Kuat Geser Langsung Pada Tanah Lempung

Pengujian pasir jenuh, bahwa perubahan volume dapat terjadi pada pengujian pada pengujian dengan drainase terbuka (*drained*). Perubahan volume dapat berupa pengurangan atau penambahan, karena pelonggaran tergantung dari kerapatan relative maupun tegangan kekang atau tegangan sel (*confining pressure*). Demikian pula yang terjadi pada kelakuan tanah kohesif yang jenuh air bila mengalami pembebanan. Kecepatan perubahan volume yang terjadi pada tanah pasir dan lempung berbeda. Karena, kecepatan perubahan volume tanah akan tergantung dari permeabilitas tanah. Karena tanah lempung berpermeabilitas

sangat rendah, sedangkan tanah pasir tinggi, kecepatan berkurangnya tekanan air pori akan lebih cepat terjadi pada tanah pasir. Jadi, untuk tanah pasir, perubahan volume akibat penghamburan tekanan air pori akan lebih cepat daripada tanah lempung (Hardiyatmo, 2002).

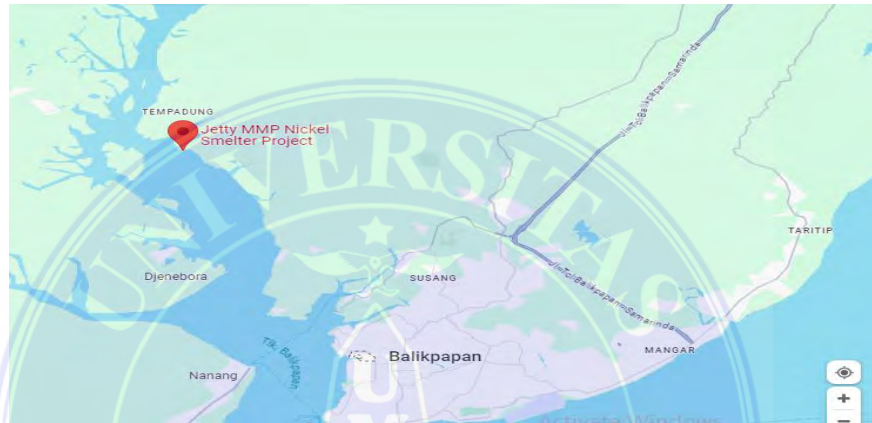


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

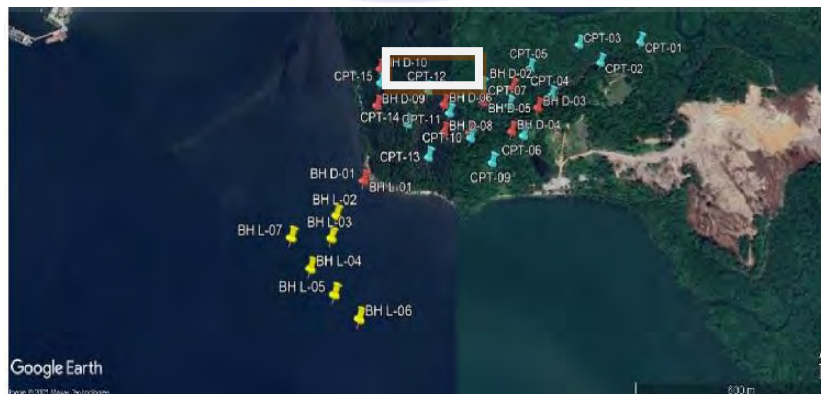
Lokasi penelitian berada di Proyek Dermaga Nickel Smelter. Proyek tersebut terletak di Kariangau, Balikpapan Barat, Kalimantan Timur, Indonesia.

Gambar 15 Menunjukkan lokasi penelitian proyek .



Gambar 15. Lokasi Proyek (google earth,2023)

Pada lokasi penelitian ini terdapat pengeboran tanah didarat dan dilaut. Didarat terdapat 10 titik bor dengan kedalaman maksimal 30m dan Pengujian CPT (sondir) sebanyak 15 titik, Sedangkan dilaut terdapat 7 titik pengeboran. Untuk penelitian ini saya mengambil data pada titik borehole 10. Pada gambar 16 menunjukkan lokasi pengeboran tanah



Gambar 16. Lokasi Titik *Borelog* (google earth,2023)

### 3.2 Site Plan Lokasi

Dermaga nickel smelter terdapat fasilitas bongkar muat kapal untuk material dan kargo. Terdapat 3 desain dalam dermaga pembangunan :

1. *Main Jetty* (Dermaga Utama)

Pada dermaga utama memiliki ukuran 30 x 244,7 m. Dermaga utama dirancang bertujuan untuk membongkar bijih nikel langsung dari kapal ke dek dermaga kemudian dimuat ke dump truck untuk diangkat ke smelter menggunakan excavator. Dengan kapasitas kapal saat ini supramax 60.000 DWT dan kapasitas kapal masa panamax 80.000 DWT.

2. *LCT Jetty* (Dermaga LCT)

Landing *Craft Tank* yang proses bongkar muatnya dilakukan di nickel smelter dengan kapasitas kapal lct 12.000 DWT yang mana LCT memiliki *ramp door* sebagai jembatan penghubung antar dermaga dan kapal.

3. *Trestle* (jembatan)

*Trestle* pada dermaga neckel smelter terdapat ukuran 383,56 x 11.25 m. tujuan *trestle* sebgai akses oprasional dari darat ke dermaga.

Gambar 17. Menunjukkan site plan proyek



Gambar 17. Site Plan (MMP001,2023)

### 3.3 Teknik Pengumpulan Data

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

#### 3.3.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari proyek berupa informasi yang berkaitan dengan judul penulis. Data tersebut terdiri dari data *Bore log* (BH-10) pada tabel 9 (Proyek Smelter Nikel, 2023)

Tabel 9. Data *Bore log* (BH 10) pada Proyek Dermaga Smelter Nikel (Proyek Smelter Nickel, 2023)

kedalaman	Z(m)	Deskripsi	N-SPT	Konsisten Tanah
4.00-4.45	4.00	Lempung Lanauan bewarna Coklat	2,0	Sangat Lunak
6.00-6.45	6.00	Lempung Berwarna abu - abu	2,0	Lunak
8.00-8.45	8.00	Lempung Berwarna abu - abu	3,0	
10.00-10.45	10.00	Lempung Berwarna abu – abu muda	5,0	Teguh
12.00-12.45	12.00	Lempung Berwarna abu – abu muda	5,0	
14.00-14.45	14.00	Lempung Berwarna abu – abu muda	5,0	
16.00-16.45	16.00	Lempung Berwarna abu – abu muda	5,0	
18.00-18.45	18.00	Lempung Lanauan bewarna abu – abu muda	5,0	Sangat Teguh
20.00-20.45	20.00	Lempung Lanauan bewarna abu – abu muda	6,0	
22.00-22.45	22.00	Lempung Lanauan bewarna abu – abu muda	9,0	Sangat Teguh
24.00-24.45	24.00	Lempung Lanauan bewarna abu – abu muda	10,0	
26.00-26.45	26.00	Lempung Lanauan bewarna abu – abu muda	11,0	Keras
28.00-28.45	28.00	Lempung Pasir bewarna abu – abu	14,0	
30.00-30.45	30.00	Lempung Pasir bewarna abu – abu	28,0	
32.00-32.45	32.00	Pasir Halus bewarna putih abu – abu	24,0	
34.00-34.45	34.00	Pasir Halus bewarna putih abu – abu	31,0	Sangat Keras
36.00-36.45	36.00	Lempung bewarna abu – abu muda	32,0	
38.00-38.45	38.00	Lempung bewarna abu – abu muda	38,0	Sangat Keras
40.00-40.45	40.00	Pasir Padat bewarna abu – abu	46,0	
42.00-42.45	42.00	Pasir Padat bewarna abu – abu	60,0	
44.00-44.45	44.00	Pasir Padat bewarna abu – abu	60,0	
46.00-46.45	46.00	Pasir Padat bewarna abu – abu	60,0	
48.00-48.45	48.00	Pasir Padat bewarna abu – abu	60,0	



### 3.3.2 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.

### 3.4 Metode Analisis

Untuk menganalisis perbandingan pengujian triaksial dan pengujian kuat geser dengan uji regresi linier berganda.

Hal yang dilakukan untuk perhitungan adalah :

Kolerasi sudut geser dan kohesi pengujian *triaksial unconsolidated undrained & direct shear* dan sifat fisik tanah seperti berat jenis (Gs), kadar air (W), atterberg limit ( batas cair, batas plastis, indeks plastisitas).

### 3.5 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.

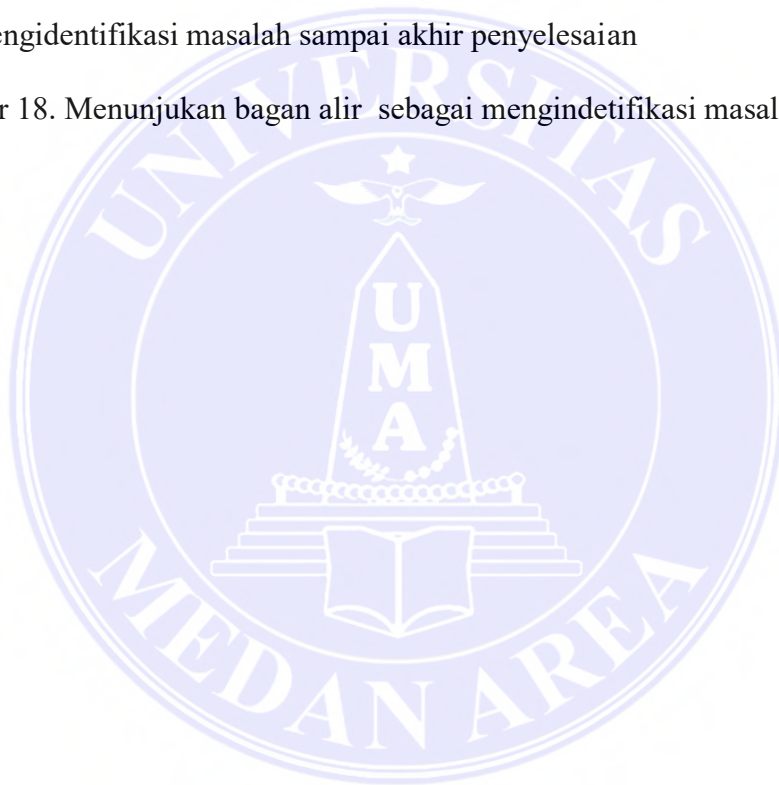
1. Tahapan pertama adalah melakukan review dan study kepustakaan, mencari jurnal-jurnal penelitian terdahulu dan buku yang berkaitan dengan penelitian perbandingan nilai kuat geser tanah , untuk mencari korelasi sudut geser dan nilai kohesi.
2. Tahapan kedua adalah peninjauan data yang sudah ada pada proyek dermaga.
3. Tahapan ketiga adalah megumpulkan data yang diperoleh dari proyek yaitu data yang dibutuhkan adalah data *Bore Log* & data fisik tanah.

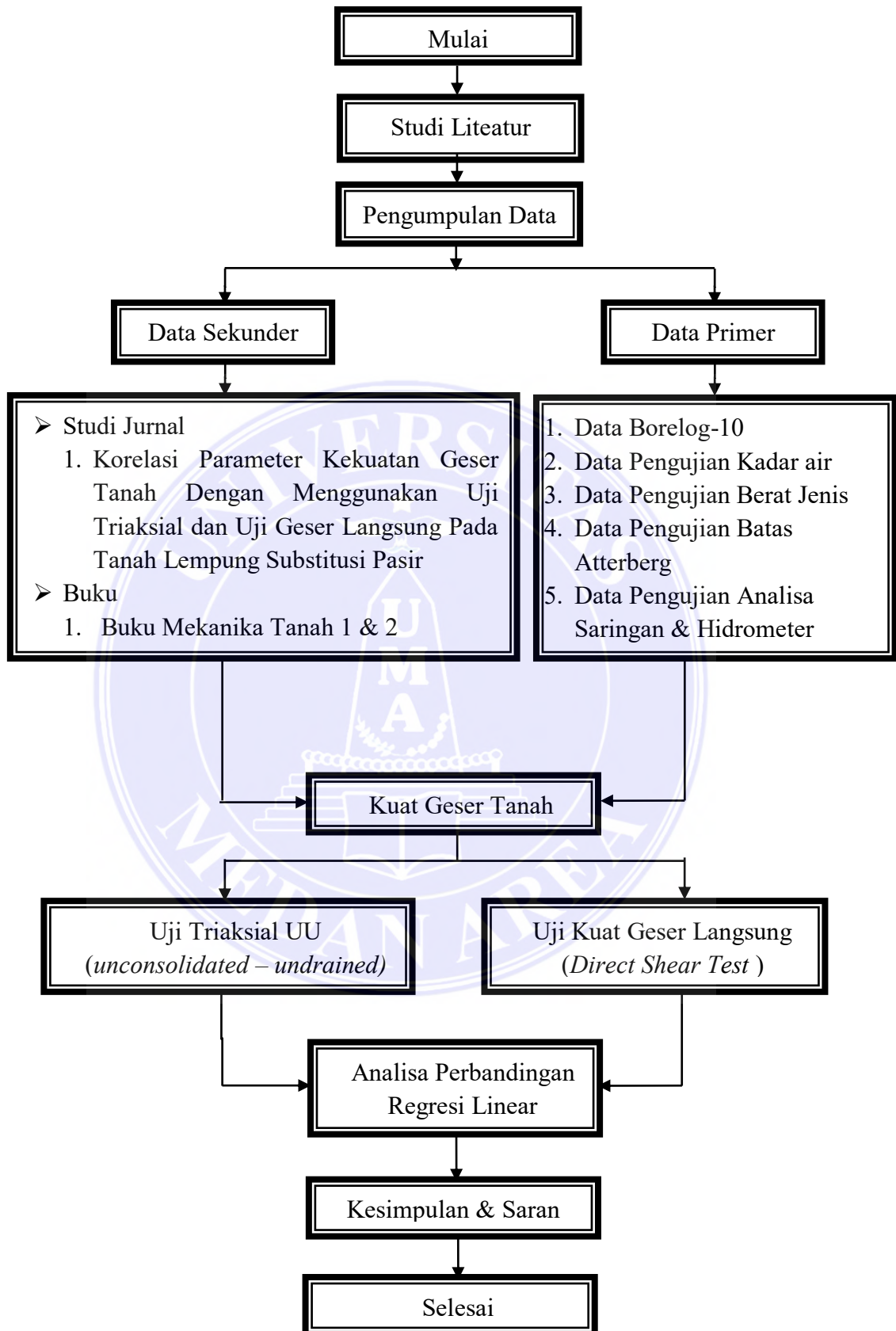
4. Tahapan keempat adalah melakukan analisis perhitungan dengan data yang diperoleh berdasarkan metode yang digunakan.
5. Tahapan kelima adalah membuat kesimpulan dari hasil analisis perhitungan yang dilakukan.

### 3.6 Diagram Alur Penelitian

Agar penelitian ini tersusun dan terstruktur dengan rapih maka peneliti membuat bagan alir agar memudahkan dalam pengerjaan skripsi ini mulai dari mengidentifikasi masalah sampai akhir penyelesaian

Gambar 18. Menunjukkan bagan alir sebagai mengindetifikasi masalah.





Gambar 18. Bagan Alir

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Persamaan yang direkomendasikan untuk digunakan dalam memprediksi nilai kuat geser dan kohesi yaitu :

$$= -38,186 + 1,074tx + 1,242ds$$

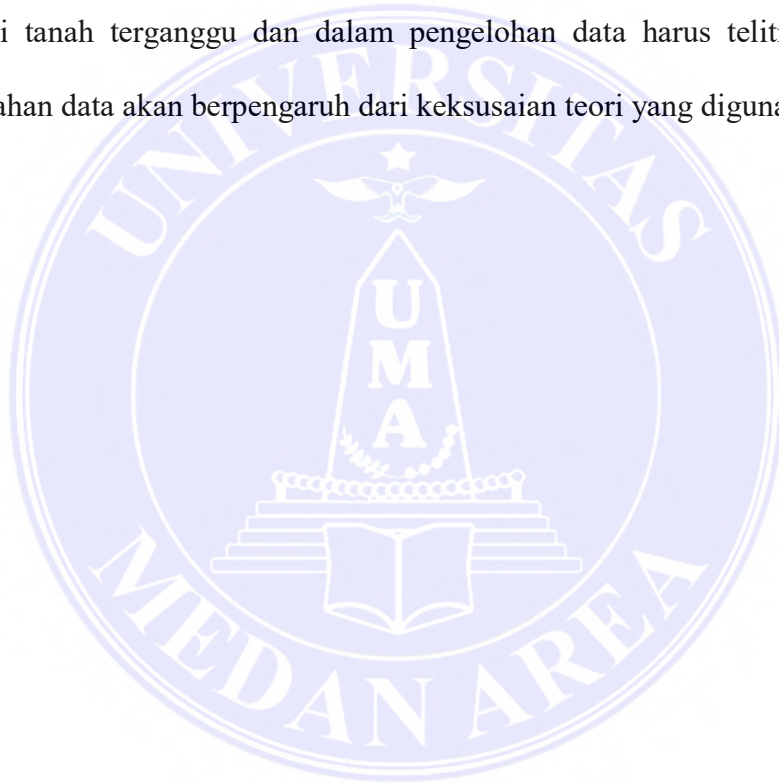
$$c = 23,537 - 29,537tx + 11,568ds$$

2. Hasil dari perhitungan melalui persamaan data pengujian triaksial dan *direct shear* tersebut didapat nilai rata – rata  $\phi$  triaksial 22,96 sedangkan  $\phi$  *direct shear* 24,65kg/m<sup>2</sup> yang mana  $\phi$  triaksial <  $\phi$  *direct shear*, maka korelasi empiris kuat geser tanah dari kedua pengujian konsistensi sudut geser tanah termasuk sangat lunak (*very soft*). Nilai kohesi Ctx dengan rata – rata 0,52° lebih kecil dari nilai Cdx ya itu 0,77°, maka korelasi empiris kuat geser tanah dari kedua pengujian konsistensi kohesi tanah termasuk sangat lunak (*very soft*).
3. Selisih rata-rata antara hasil  $\phi$  triaksial &  $\phi$  *direct shear* dengan analisis sebesar -10,14 terdapat selisih terbesar yaitu 34% pada kedalaman 24.50 – 25.00 meter dari data *borelog* sampel 5. Selisih rata-rata antara hasil  $\phi$  triaksial &  $\phi$  *direct*. Sedangkan Selisih rata-rata antara hasil Ctx & Cdx dengan analisis sebesar -1,51. terdapat selisih terbesar yaitu 95% pada kedalaman 29.00 – 29.50 dari data *borelog* sampel 6. Hal ini terjadinya perselisihan di antara 2 pengujian ada beberapa faktor, diantaranya

perbedaan metode uji, kondisi pengujian, sifat non-linear tanah, skala sampel, pertimbangan pori air, dan kondisi tanah.

## 5.2 Saran

Hasil dari penelitian skripsi adapula saran pada saat pengambilan sampel tanah diharapkan agar tidak terlalu lama saat di uji laboratorium karna akan berpengaruh hasil tanah yang diuji seperti salah satu tanah yg memiliki kadar air tingkat tinggi jika terlalu lama terjadinya perubahan yg tidak signifikan atau menjadi tanah terganggu dan dalam pengolahan data harus teliti karena hasil pengolahan data akan berpengaruh dari kekesusaian teori yang digunakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, M., Haris, V. T., & Saleh, A. (2023). Kuat Geser Tanah Timbunan Akibat Perubahan Kadar Air. *SAINSTEK*, 11(2), 128-134.
- Darwis, H., & Sc, M.(2018). *Dasar – Dasar Mekanika Tanah*” Yogyakarta : Pena Indis.
- Dewi, R., Adhitya, B. B., San, I. C., Safir, M. R., & Mukhti, K. (2022). Korelasi Nilai Kuat Geser Tanah Hasil Uji Laboratorium Dan Hasil Uji Lapangan. *Applicable Innovation Of Engineering And Science Research (Avoer)*, 14(1), 216-222.
- Fahriana, N., Ismida, Y., Lydia, E. N., & Ariesta, H. (2019). Analisis klasifikasi tanah dengan metode USCS (Meurandeh Kota Langsa). *JURUTERA-Jurnal Umum Teknik Terapan*, 6(02), 5-13.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah II*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Kaihatu, S., Waas, E. D., & Ayal, Y. (2016). Identifikasi dan Penentuan Jenis Tanah di Kabupaten Seram bagian Barat. *Jurnal Pertanian Agros*, 18(2), 170-180.
- Lestari, I. G. A. A. I., & Lestari, G. A. A. (2014). Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif. *GaneC Swara*, 8(2).
- Marwan, M., Munirwan, R. P., & Sundary, D. (2013). Hubungan Parameter Kuat Geser Langsung Dengan Indeks Plastisitas Tanah Desa Neuheun Aceh Besar. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 47-56.
- Meiwa, S. (2020). *Pengujian Kuat Geser Tanah Di Laboratorium*.

- Nurdian, S. 2015. Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah Dengan Menggunakan Uji Triaksial dan Uji Geser Langsung Pada Tanah Lempung Subtitusi Pasir. Universitas Lampung, Bandar Lampung
- Pertiwi, S. A. P., Candra, A. I., Sari, T. S., Safi'i, A. D., & Zakiya, Z. (2023). Mengidentifikasi Jenis Tanah, Batas Plastis, Batas Cair Tanah Lempung. *Jurnal Talenta Sipil*, 6(1), 151-162.
- Putra, R. Dwt. 2016. Pengaruh Subtitusi Pasir Pada Tanah Organik Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Geser. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
- Safitri, R.Dkk.2011. Korelasi Parameter Kuat Geser Hasil Uji Geser Langsung dan Uji *Triaksial* pada Campuran Tanah Lempung pasir. *Jurnal sains dan teknologi fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru*, Hal 21 – 28.
- Siska, H. N., & Yakin, Y. A. (2016). Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 2(4), 44.SNI 4813 – 2008. 2008.
- Susilo, A. J., Sentosa, G. S., Sumarli, I., & Prihatiningsih, A. (2018). Karakteristik Parameter Kekuatan Tanah Yang Dipadatkan Dengan Uji Triaksial Metode UU. *J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat*, 2(2), 572.
- Soewignjo, A. N dan Agus IP, 2010. Korelasi Kuat Geser Tanah Hasil Pengujian *Triaksial Dan Unconfined Compression Strength (UCS)*. Prosiding Seminar Temu Ilmiah Nasional Dosen Teknik ke-IX. Indonesia 10 Universitas Tarumanagara,
- Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, Jakarta

Umam, K., Nugroho, S. A., & Wibisono, G. (2017). Pengaruh Gradasi Pasir Dan Kadar Lempung Terhadap Kuat Geser Tanah (*Doctoral dissertation*, Riau University).

Utami, G. S., & Caroline, J. (2018, September). Analisis Pengaruh Perubahan Kadar Air Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (pp. 289-296).

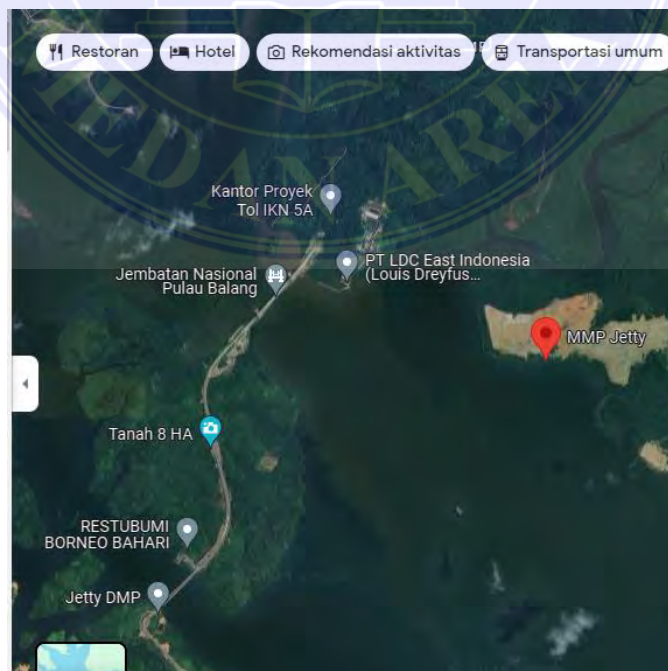




## LAMPIRAN



Gambar Sampel Tanah Data Borelog 10 (MMP, 2024)



Gambar Lokasi Proyek (Google Maps, 2024)