

PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG MENGUNAKAN PASIR DENGAN UJI CBR

SKRIPSI

OLEH:

**FERDINAN MARKUS NDRURU
188110003**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

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 17/1/24

Access From (repository.uma.ac.id)17/1/24

PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG MENGUNAKAN PASIR DENGAN UJI CBR

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh :
FERDINAN MARKUS NDRURU
188110003

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang


Document Accepted 17/1/24

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

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung Menggunakan Pasir Dengan Uji CBR
Nama : Ferdinan Markus Ndururu
NPM : 188110003
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh :
Komisi Pembimbing


Ir. Nurmaidah, MT
Pembimbing

Mengetahui.

Dekan Fakultas

Dr. KURNIAWATI, S. Kom, M. Kom
Fakultas Teknik

Kaprodi Teknik Sipil

Tika Eriana Wulandari, ST, MT
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 03 Agustus 2023

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 3 Agustus 2023



Ferdinand Markus Ndururu
188110003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ferdinan Markus Ndururu
NPM : 188110003
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung Menggunakan Pasir Dengan Uji CBR. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 3 Agustus 2023
Yang menyatakan


(Ferdinan Markus Ndururu)

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 Pengujian Mekanika Tanah dengan judul Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung Menggunakan Pasir Dengan Uji CBR Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Ir. Nurmaidah, M. T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Renti Magdalena Matanari, S. Gz. yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, krtitik 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



(Ferdinan Markus Ndururu)



ABSTRAK

Menurut data peta ESDM wilayah Indonesia memiliki besaran tanah lempung yang cukup luas diberbagai daerah khususnya Sumatera Utara. Tanah lempung merupakan material yang buruk sebagai dasar bangunan dikarenakan daya dukung yang rendah dan sifat kembang susut yang besar sehingga perlu dilakukan peningkatan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik tanah pada kondisi tanah asli yang berasal dari daerah Kampung Projo, Sena, Kec. Batang Kuis, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara, serta ingin mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan pasir yang diambil Sungai, Desa Marindal I dan II, Kec. Patumbak, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pasir sebagai bahan stabilisasi. Setelah itu dilakukan pengujian kuat tekan dengan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) di laboratorium. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi menggunakan pasir dengan variasi 2%, 4%, 6%, 8%. Penambahan pasir sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan daya dukung tanah dengan seiring bertambahnya nilai CBR (*California Bearing Ratio*) pada tiap variasi campuran pasir. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) pada tanah asli sebesar 9,97%, penambahan 2% pasir sebesar 11,82%, penambahan 4% pasir sebesar 12,93%, penambahan 6% pasir sebesar 13,20% dan penambahan 8% pasir sebesar 13,47%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pasir dapat mempengaruhi nilai daya dukung tanah dan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). Semakin banyak variasi pasir yang ditambahkan maka semakin meningkat daya dukung tanah dan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) yang diperoleh.

Kata kunci : Tanah Lempung, Pasir, Daya dukung, CBR

ABSTRACT

Based on ESDM map data, Indonesia has quite extensive amounts of clay soil in various regions, especially North Sumatra. Clay is one of the materials that is not good as a basic building material because of its low bearing capacity and large shrinkage properties, so it needs to be repaired. This research was conducted to determine the physical properties of the soil in the original soil conditions originating from the Kampung Projo area, Sena, Kec. Batang Kuis, Kab. Deli Serdang, North Sumatra, and want to know how big the influence of the addition of sand taken by the river is, Marindal I and II Villages, Kec. Patumbak, Kab. Deli Serdang, North Sumatra. This research was carried out using sand as a stabilizing material. After that, compressive strength testing was carried out using CBR (California Bearing Ratio) testing in the laboratory. The test objects used in this research consisted of original soil and soil that had been stabilized using sand with variations of 2%, 4%, 6%, 8%. The addition of sand as a stabilizer can increase the bearing capacity of the soil along with increasing the CBR (California Bearing Ratio) value for each variation of the sand mixture. CBR (California Bearing Ratio) testing on original soil was 9.97%, 2% sand addition was 11.82%, 4% sand addition was 12.93%, 6% sand addition was 13.20% and 8% sand addition amounting to 13.47%. From the results of the research that has been carried out, it can be concluded that sand can influence the soil bearing capacity value and the CBR (California Bearing Ratio) value. The more variations of sand added, the greater the bearing capacity of the soil and the CBR (California Bearing Ratio) value obtained

Keywords: Clay, Sand, Carrying Capacity, CBR

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER.....	I
HALAMAN JUDUL.....	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	III
HALAMAN PERNYATAAN.....	IV
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	V
RIWAYAT HIDUP.....	VI
KATA PENGHANTAR.....	VII
ABSTRAK.....	VIII
ABSTRACK.....	IX
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR TABEL.....	XII
DAFTAR GAMBAR.....	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Tanah.....	7
2.2.1. Defenisi Tanah.....	7
2.2.2. Klasifikasi Tanah.....	8
2.3. Tanah Lempung.....	15
2.3.1. Defenisi Tanah Lempung.....	15
2.3.2. Jenis Mineral Lempung.....	16
2.3.3. Sifat Tanah Lempung.....	19
2.4. Stabilitas Tanah.....	21
2.5. Indeks Properties Tanah.....	21
2.5.1. Berat Jenis.....	22
2.5.2. Kadar Air.....	23
2.5.3. Analisa Saringan.....	24
2.5.4. Uji Batas-Batas Konsisten (<i>Atterberg Limit</i>).....	25
2.6. Pemadatan Tanah.....	26
2.7. <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	28
2.7.1. Jenis-jenis CBR.....	28
2.7.2. Pengujian Kekuatan dengan CBR.....	30

BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1. Lokasi sampel	31
3.2. Lokasi Pengujian.....	31
3.3. Cara Pengambilan Sampel	32
3.4. Benda Uji	33
3.5. Metode Pencampuran Sampel Tanah Dengan Pasir	33
3.6. Data Penelitian	33
3.7. Urutan Prosedur Penelitian.....	34
3.8. Analisis Hasil Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1. Hasil Penelitian	36
4.1.1 Pengujian Kadar Air Tanah Asli	36
4.1.2 Pengujian Berat Jenis Tanah Asli.....	37
4.1.3 Pengujian Analisis Saringan.....	38
4.1.4 Pengujian Batas-batas Plastisitas	40
4.1.5 Pengujian Pemadatan Tanah (<i>Proctor Standart</i>).....	45
4.1.6 Pengujian CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	47
4.2. Pembahasan.....	57
4.2.1. Hasil Analisis Tanah Asli.....	58
4.2.2. Hasil Analisa Tanah Asli dengan Campuran Pasir	61
4.3. Pembahasan.....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya.....	11
Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah <i>Unified</i>	13
Tabel 3. Rentang Pertukaran Kation Dalam Mineral Lempung	19
Tabel 4. Aktivitas Tanah Lempung.....	20
Tabel 5. Nilai Berat Jenis Tanah	23
Tabel 6. Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Kadar Air.....	24
Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Air	36
Tabel 8. Hasil Pengujian Berat Jenis.....	37
Tabel 9. Pengujian Analisis Saringan Sampel 1	38
Tabel 10. Hasil Pengujian Sampel 2	39
Tabel 11. Hasil Pengujian Analisa Saringan Rata-rata	39
Tabel 12. Hasil Pengujian Batas Cair Tanah Sampel 1	41
Tabel 13. Hasil Pengujian Batas Cair Tanah Sampel 2	42
Tabel 14. Nilai Rata-rata Batas Cair	43
Tabel 15. Hasil Pengujian Batas Plastis Sampel 1	43
Tabel 16. Hasil Pengujian Batas Plastis Sampel 2	44
Tabel 17. Hasil Rekapitulasi Pengujian Batas Plastisitas	44
Tabel 18. Rekapitulasi Hasil Pengujian Batas Konsistensi.....	45
Tabel 19. Penambahan Air pada Sampel	46
Tabel 20. Hasil Pengujian Pematatan Tanah	46
Tabel 21. Hasil Pengujian CBR Tanah Asli.....	48
Tabel 22. Hasil Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 2%	50
Tabel 23. Hasil Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 4%	52
Tabel 24. Hasil Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 6%	54
Tabel 25. Hasil Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 8%	56
Tabel 26. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli	58
Tabel 27. Klasifikasi Tanah Asli Metode USCS	59
Tabel 28. Nilai Hasil Pengujian CBR Terhadap Masing-masing Sampel	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Nilai Batas Atterberg untuk Subkelompok Tanah	9
Gambar 2. Sistem klasifikasi <i>Unified</i>	14
Gambar 3. Diagram Plastisitas	15
Gambar 4. Rangkaian Dasar <i>Oktahedral</i> dan <i>Tetrahedral</i>	16
Gambar 5. Susunan Mineral <i>Kaolinite</i>	17
Gambar 6. Susunan Mineral <i>Montmorillonite</i>	18
Gambar 7. Struktur <i>Illite</i>	18
Gambar 8 Batas-batas <i>Atterberg</i>	26
Gambar 9. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	31
Gambar 10. Lokasi Pengujian	32
Gambar 11. Bagan Alir Percobaan.....	34
Gambar 12. Grafik Hasil Analisa Saringan Tanah.....	40
Gambar 13. Grafik Hubungan Jumlah Pukulan dengan Kadar Air Sampel 1	41
Gambar 14. Grafik Hubungan Jumlah Pukulan dengan Kadar Air Sampel 2	42
Gambar 15. Grafik Pengujian Pemadatan Tanah.....	47
Gambar 16. Grafik Pengujian CBR Tanah Asli.....	49
Gambar 17. Grafik Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 2%.....	51
Gambar 18. Grafik Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 4%.....	53
Gambar 19. Grafik Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 6%.....	55
Gambar 20. Grafik Pengujian CBR dengan Campuran Tanah + Pasir 8%.....	57
Gambar 21. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	60
Gambar 22. Grafik Perbandingan Kadar Campuran Pasir Terhadap Nilai	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang berkembang, sehingga pemerintah dituntut bergerak cepat demi upaya melanjut ketahap negara maju. Dalam hal tersebut pemerintah berkali-kali membuat program pembangunan infrastruktur yang layak sehingga dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dengan beberapa program yang dijalankan. Namun menurut data peta ESDM wilayah Indonesia memiliki besaran tanah lempung yang cukup luas diberbagai daerah khususnya daerah Medan Sumatera Utara. Sehingga terciptanya masalah baru untuk proses pembangunan yang tidak merata pada wilayah tersebut, dikarenakan jenis tanah lempung yang terdapat dibagian Medan Utara menyebabkan sulitnya untuk melakukan pembangunan infrastruktur yang dampak buruk yaitu menjadikan daerah tersebut mengalami ketertinggalan dibandingkan daerah lain.

Dalam hal pembangunan infrastruktur tanah adalah suatu komponon dasar yang sangat berpengaruh untuk pembangunan dan perancangan struktur dalam proyek konstruksi, baik dalam konstruksi bangunan dan konstruksi jalan. Sehingga untuk memulai proses pembangunan tersebut membutuhkan tanah yang baik sebagai dasar pembangunan suatu proyek. Salah satu persoalan yang sering dihadapi dalam proses perencanaan dan pelaksanaan pembangunan (khususnya untuk sebuah pembangunan perkerasan jalan) adalah cara menangani tanah atau bahan buruk agar dapat digunakan sebagai bahan perkerasan.

Tanpa melakukan perbaikan pada tanah lempung maka tidak akan ada bangunan yang dapat dibangun diatasnya. Pada kesempatan ini peneliti mencoba

metode untuk memperbaiki tanah lempung dengan proses penambahan pasir. Sehingga dapat diketahui apakah daya dukung tanah lempung akan bertambah dengan proses pencampuran tersebut. Karena perkembangan yang cukup pesat teknologi stabilitas tanah telah mengalami peningkatan, salah satunya kemajuan teknologi yang dapat digunakan dalam stabilitas tanah adalah dengan pencampuran bahan kimia. Untuk memperbaiki mutu tanah digunakan beberapa bahan campuran yang salah satunya adalah pasir karena menurut beberapa referensi mampu untuk memperbaiki jenis tanah lempung, sehingga perlu dilakukan pengujian untuk hal tersebut.

Dalam karya ilmiah ini akan langsung menguji pengaruh pasir dalam perbaikan tanah lempung dan menjelaskan seberapa besar pengaruh pencampuran pasir terhadap tanah lempung. Akankah mengalami perubahan stabilitas tanah lempung dan penambahan daya dukung tanah setelah dicampur dengan pasir. Sehingga pada akhirnya akan dapat menyimpulkan bahwa pasir merupakan salah satu alternatif yang baik atau tidak untuk memperbaiki tingkat daya dukung tanah lempung.

1.2. Perumusan Masalah

1. Apakah penambahan pasir dapat menambah daya dukung dan stabilitas tanah?
2. Apakah penambahan pasir dapat menjadi alternative yang baik untuk meningkatkan daya dukung tanah?
3. Bagaimanakah pengaruh penambahan pasir terhadap tingkat daya dukung tanah lempung?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui apakah penambahan pasir dapat mempengaruhi terhadap daya dukung tanah dan stabilitas tanah.
2. Untuk mengetahui apakah penambahan pasir dapat menjadi alternative yang baik untuk meningkatkan daya dukung tanah.
3. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh pasir sebagai campuran tambahan yang dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung.

1.4. Batasan Masalah

Masalah pada penelitian ini dibatasi pada sifat dan karakteristik tanah organiksebelum dan sesudah dicampur menggunakan pasir sebagai campuran dengan melaksanakan pengujian yang dilakukan di Laboratorium. Adapun ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Sampel tanah yang digunakan merupakan sampel tanah terganggu pada jenis tanah lempung di daerah Kampung Projo, Sena, Kec. Batang Kuis, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara.
2. Pasir yang digunakan yang diambil dari Sungai, Desa Marindal I dan II, Kec. Patumbak, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara.
3. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Katolik antara lain, sebagai berikut :
 - a. Pengujian pada tanah asli meliputi :
 1. Uji Analisis Saringan
 2. Uji Kadar Air
 3. Uji Batas-Batas *Atterberg*
 4. Uji Berat Jenis

5. Uji Pemadatan Standart
 6. Uji CBR
- b. Pengujian pada tanah yang telah dicampur dengan pasir meliputi :
1. Uji CBR + Pasir 2%
 2. Uji CBR + Pasir 4%
 3. Uji CBR + Pasir 6%
 4. Uji CBR + Pasir 8%



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa hasil penelitian terdahulu yang dapat menjadi acuan pada penelitian ini. Penelitian terdahulu yang telah dipilih sesuai dengan permasalahan dalam topik penelitian ini, sehingga diharapkan mampu menjelaskan serta memberi referensi bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Berikut dijelaskan beberapa penelitian terdahulu yang telah dipilih.

- a. Prasenda, C., Setyanto, S., & Iswan, I. (2015) yang berjudul Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan dan Daya Dukung Tanah Lempung Lunak.

Penelitian ini dilakukan untuk menstabilisasi jenis tanah lempung yang berada di desa Rawa, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur. Dalam penelitian tersebut dilakukan menggunakan pasir sebagai campurannya dengan variasi campuran sebanyak 5%, 10% dan 15%, setelah itu akan dilakukan pengujian Batas-batas *Atterberg*, Berat Jenis, Berat Volume setiap sampel dan pengujian CBR. Dalam penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan bahwa sampel tanah yang dipakai untuk penelitian tersebut menurut AASHTO digolongkan pada kelompok tanah A-6 (Tanah Lempung) dengan keterangan bahwa tanah ini termasuk golongan biasa sampai kurang baik digunakan sebagai tanah dasar pondasi. Pemakaian pasir sebagai bahan stabilitas terhadap tanah lempung mampu menaikkan nilai berat jenis tanah pada setiap penambahan pasirnya. Hasil pengujian Batas-batas *Atterberg*, kadar campuran pasir

dapat menaikkan nilai batas plastisitas. Nilai indeks plastisitas pada masing-masing kadar campuran pasir mengalami penurunan. Pengujian CBR dengan campuran kadar pasir mengalami kenaikan nilai.

- b. Ferdian, F., Jafri, M., & Iswan, I. (2015). Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan dan Daya Dukung Tanah Lempung Organik. Penelitian ini dilakukan untuk menstabilisasi jenis tanah lempung organik yang berada di desa Gedong Pasir, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur. Dalam penelitian tersebut dilakukan menggunakan pasir sebagai campurannya dengan variasi campuran sebanyak 5%, 10% dan 15%, setelah itu akan dilakukan pengujian Batas-batas *Atterberg*, Berat Jenis, Berat Volume setiap sampel dan pengujian CBR. Dalam penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan bahwa sampel tanah yang dipakai untuk penelitian tersebut menurut AASHTO digolongkan pada kelompok tanah A-6 (Tanah Lempung) dengan keterangan bahwa tanah ini termasuk golongan biasa sampai kurang baik digunakan sebagai tanah dasar pondasi. Pemakaian pasir sebagai bahan stabilitas terhadap tanah lempung mampu menaikkan nilai berat jenis tanah pada setiap penambahan pasirnya. Hasil pengujian Batas-batas *Atterberg*, kadar campuran pasir dapat menaikkan nilai batas plastisitas. Nilai indeks plastisitas pada masing-masing kadar campuran pasir mengalami penurunan. Pengujian CBR dengan campuran kadar pasir mengalami kenaikan nilai.
- c. Saleh, A., & Anggraini, M. (2019, April). Metoda Perbaikan Tanah Lunak Dengan Penambahan Pasir.

Dalam penelitian ini meninjau bahwa kita tidak dapat mengelakkan pembangunan jalan diatas tanah lunak. Sedangkan tanah lunak merupakan tanah yang kurang bagus digunakan dalam pembangunan konstruksi jalan karena tanah lunak memiliki daya dukung tanah yang rendah sehingga dapat terjadinya penurunan yang signifikan ketika diberikan beban diatasnya. Upaya untuk permasalahan tersebut dilakukan perbaikan *subgrade*, salah satu caranya adalah dengan stabilisasi mekanis yaitu dengan menambah material pasir pada tanah lunak sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa metode perbaikan tanah lunak dengan stabilisasi pasir dapat menaikkan nilai kuat dukung (CBR) tanah.

2.2. Tanah

2.2.1. Defenisi Tanah

Material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1985) adalah sebagai definisi dari tanah. Dalam ruang lingkup Teknik Sipil tanah dapat didefinisikan sebagai himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak diatas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1996). Kata “tanah merujuk ke material yang tidak membantu, tidak termasuk batuan dasar yang terdiri dari butiran-butiran mineral yang memiliki ikatan yang lemah serta memiliki bentuk, ukuran, bahan organik, air dan gas yang bervariasi.

Oleh karena itu tanah meliputi gambut, organik, lempung, lanau, pasir dan kerikil atau campurannya (Anonim, 2001)

2.2.2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang bervariasi tanpa penjelasan terinci (Das, 1985).

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah, kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah *unified* (*USCS*)

a. Sistem Klasifikasi *AASHTO*

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

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

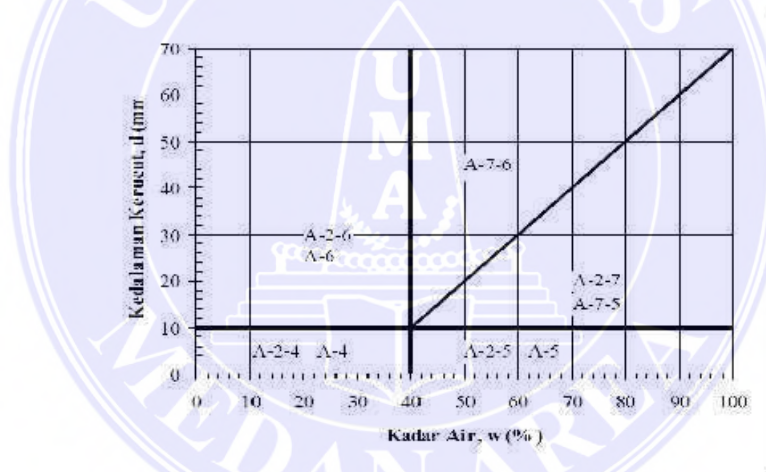
Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria :

1. Ukuran butir tanah

- a) Krikil : fraksi melewati saringan 75 mm (3 inc) dan tertahan pada saringan no 10 (2 mm).
- b) Pasir : fraksi melewati saringan no 20 (2 mm) dan tertahan pada saringan no 200 (0,075 mm).
- c) Lumpur dan lanau : fraksi melewati saringan no 200.

2. Plastisitas

Tanah berlumpur (*silty*) dapat diklasifikasikan jika fraksi halus tanah memiliki indeks plastisitas 10 atau kurang, sedangkan untuk tanah liat (*clay*) ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastisitas 11 atau lebih.



Gambar 1 Nilai Batas Atterberg untuk Subkolompok Tanah (Das, 1985)

3. Jika batuan (ukuran < 75 mm) ditemukan pada contoh tanah yang ingin diklasifikasikan jenis tanahnya, maka batuan yang ditemukan harus dikeluarkan terlebih dahulu dan persentase dari batuan yang dikeluarkan harus dicatat.

Pada saat melakukan sistem klasifikasi pada tanah dan ingin menggunakan sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) maka data yang didapatkan hari hasil uji harus mengacu

pada nilai yang diberikan pada Tabel 1 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga menemukan angka yang sesuai.



Tabel 1 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Das Braja M, 1985)

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)			
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6**
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50										
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51								
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≥ 41
Indeks Plastisitas (PL)	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 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, $PI > LL - 30$

b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, antara lain:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Symbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau **S** untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$). Kelompok dengan symbol diawali dengan **M** untuk lanau inorganic (*inorganic silt*), atau **C** untuk lempung inorganic (*inorganic silt*), atau **O** untuk lanau dan lempung organic. Simbol **PT** digunakan untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organic tinggi. Terdapat symbol lain yang digunakan untuk klasifikasi.

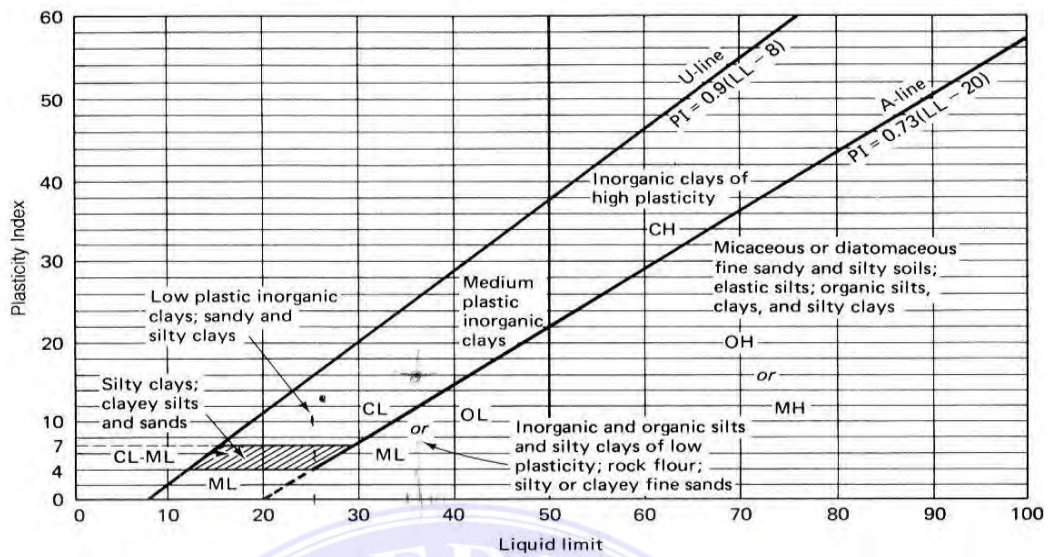
Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (Bowles, 1984)

Jenis tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_L < 50\%$	L
Organik	O	$w_L > 50\%$	H
Gambut	Pt		

W – untuk gradasi baik (*well graded*), **P** – gradasi buruk (*poorly graded*), **L** - plastisitas rendah (*low plasticity*) dan **H** – plastisitas tinggi (*high plasticity*). Adapun kelompok tanah utama dalam sistem klasifikasi *Unified* (Bowles, 1984) diperlihatkan pada Table 2.

Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (sedikit atau tak ada butiran halus)</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kerikil banyak kandungan butiran halus</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pasir bersih kandungan butiran halus</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)</p>	GW	Kerikil gradasi: baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kerikil banyak kandungan butiran halus</p>	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pasir bersih kandungan butiran halus</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.</p>	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pasir bersih kandungan butiran halus</p>		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Lanau dan lempung batas cair > 50%</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang</p>	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas atterberg yang termasuk dalam daerah yang arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$</p>	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')		
	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Lanau dan lempung batas cair > 50%</p>	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.		
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan organik tinggi		Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488		

Gambar 2. Sistem klasifikasi *Unified* (Bowles, 1989)



Gambar 3. Diagram Plastisitas (ASTM)

2.3. Tanah Lempung

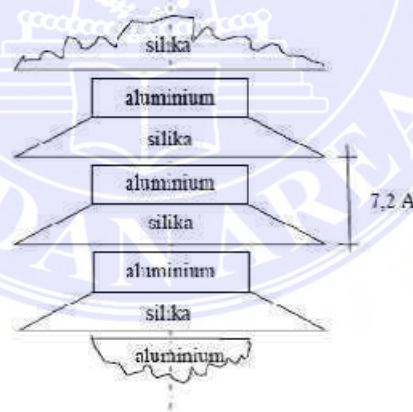
2.3.1. Defenisi Tanah Lempung

Tanah lempung adalah kumpulan dari partikel-partikel mineral lempung dan bukan lempung, yang memiliki sifat-sifat yang sebagian besar, walaupun tidak secara keseluruhan, ditentukan oleh mineral-mineral lempung. Beberapa pendapat para peneliti mengenai definisi dari tanah lempung, yaitu :

1. Menurut (Das, 1985) Tanah lempung merupakan agregat partikel yang berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusunan batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang namun jika dalam keadaan air lebih tinggi maka lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.
2. Menurut (Grim, 1962) Tanah lempung merupakan tanah yang terdiri dari partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam keadaan basah.
3. Menurut (Bowles, 1984) Tanah lempung yaitu deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50%.

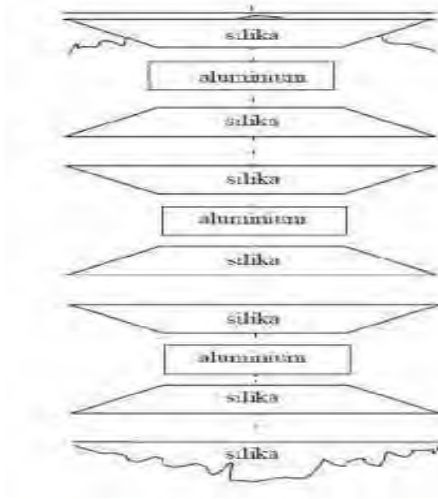
Berikut beberapa mineral-mineral yang dikelompokkan ke dalam golongan besar yaitu *kaolinite*, *smectite (montmorillonite)* dan *illite* (mika hidrat).

- a. Kaolin (Kaolinite), Merupakan masa batuan yang tersusun dari mineral lempung dengan kandungan besi rendah. Kaolin mempunyai komposisi hidros aluminium silikat ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) yang disertai dengan beberapa mineral penyerta, mineral yang termasuk dalam pengelompokan kaolin adalah kaolinit, nakrit, dikrit dan haloisit dengan kaolinit sebagai mineral utama. Proses pembentukan kaolin adalah karena pelapukan dan proses hidrothermalalterasi pada batuan beku yang banyak mengandung *felspar* dimana mineral potassium aluminium siliat dan *felspar* diubah menjadi kaolin (Hartomo, 1994). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. kedua lembaran terikat bersama lapisan tunggal dengan susunan mineral ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5. Susunan Mineral *Kaolinite* (hardiyatmo, 1996)

- b. *Montmorillonite*, disebut juga *smectite* adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (gibbsite). Dengan susunan mineral *Montmorillonite* ditunjukkan pada Gambar 6.

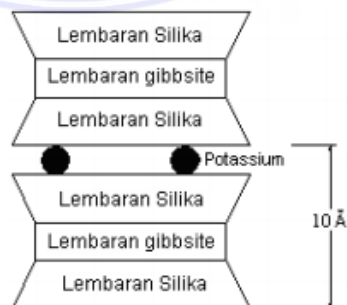


Gambar 6. Susunan Mineral *Montmorillonite* (Hardiyatmo, 1996)

c. *Illite*, merupakan mineral yang mempunyai hubungan dengan mika, sehingga dinamakan pula hidrat-mika. Serta mineral *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *Montmorillonite*.

Namun ada beberapa perbedaan yang dimiliki antara mineral tersebut, yaitu :

- a) Pengikat antar unit kristal terdapat pada kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan sekaligus sebagai pengikat
- b) Terdapat $\pm 20\%$ pergantian silicon (Si) oleh aluminium (Al) pada lempeng tetrahedral.
- c) Struktur mineral tidak mengembang sebagaimana *Montmorillonit*



Gambar 7. Struktur *Illite* (Das Braja M, 1988)

2.3.3. Sifat Tanah Lempung

Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Secara umum lempung mempunyai muatan listrik negative pada permukaan, muatan negative pada permukaan partikel lempung merupakan akibat dari substitusi isomorph dan kontinuitas perpecahan susunannya. Suatu partikel yang memiliki luasan spesifik yang lebih besar terdapat pada muatan negatif yang lebih besar mineral yang terdapat pada tanah lempung tersebut terjadi pertukaran kation yang banyak dan luas permukaan spesifik jenis mineral dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rentang Pertukaran Kation Dalam Mineral Lempung (Chen, 1975)

	Kaolinit	Illite	Montmorillonite
Tebal (μm)	(0,5 – 2)	(0,003 – 0,1)	>9,5A°
Diameter (μm)	(0,5 – 4)	(0,5 – 10)	(0,05 – 10)
Luas spesifik (m^2/gr)	10 – 20	65 – 180	50 – 840
Pertukaran kation	3 – 15	10 – 40	70 – 80

Mineral lempung dapat diidentifikasi dengan beberapa macam cara, yaitu diantaranya dengan mengadakan pengujian Difraksi Sinar-X dan menganalisa nilai aktifitasnya.

1. Mithcell (1993), menyebutkan faktor yang mempengaruhi sifat tanah, yaitu :

- a) Faktor komposisi meliputi tipe mineral, jumlah masing-masing mineral, tipe kation yang diserap, bentuk dan ukuran distribusi partikel dan komposisi air pori. Uji faktor komposisi ini menggunakan tanah tak terganggu.

b) Faktor lingkungan meliputi kadar air, kepadatan, tekanan samping dan keberadaan air. Uji faktor lingkungan menggunakan tanah terganggu.

2. Menurut Bowles (1989) Tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat antara lain sebagai berikut :

a) Hidrasi, dikelilingi oleh lapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi dengan ketebalan dua molekul (lapisan difusi ganda) yang dapat menarik molekul air disekitarnya. Namun lapisan ini akan hilang pada temperature 600°C sampai 1000 °C yang akan mengurangi plastisitas alamiah tanah.

b) Aktivitas, perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) mendefinisikan aktivitas dari tanah lempung dengan butiran > 0,002 mm yang dinotasikan dengan huruf C. Berikut persamaannya :

$$Aktifitas = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C}$$

Untuk nilai $A > 1,25$ digolongkan aktif dan sifatnya ekspansif, $1,25 < A < 0,75$ digolongkan normal sedangkan $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif, aktivitas juga berhubungan dengan kadar air potensial relatif.

Tabel 4. Aktivitas Tanah Lempung (Skempton, 1953)

Minerologi Tanah Lempung	Nilai Aktivitas
Kaolinite	0,4 – 0,5
Illite	0,5 – 1,0
Montmorillonite	1,0 – 7,0

c) Flokulasi dan Dispersi, saat mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu maka daya negatif netto, ion-ion H⁺ dari air gaya Van der Waals dan partikel berukuran kecil akan

Bersama-sama tertarik dan bersinggungan di dalam larutan tanah dan air. Flokulasi adalah suatu peristiwa penggumpalan partikel lempung di dalam larutan air akibat mineral lempung yang dimana umumnya mempunyai $pH > 7$.

2.4. Stabilitas Tanah

Stabilitas tanah merupakan suatu proses memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut sehingga dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Tujuan dari stabilitas tanah yaitu dengan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Sifat tanah yang telah diperbaiki dengan cara stabilitas meliputi : kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas dan kekekalan atau keawetan.

Menurut Bowles (1984) beberapa tindakan yang dilakukan dalam menstabiliskan tanah yaitu sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah
2. Menambahkan material yang tidak aktif sehingga dapat meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul
3. Menambahkan bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis pada tanah
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah)
5. Mengganti tanah yang buruk.

2.5. Indeks Properties Tanah

Sifat indeks (Indeks Properties) menunjukkan sifat fisis tanah yang dapat mengidentifikasi jenis dan kondisi tanah yang diambil sebagai sampel

percobaan, serta dapat memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis seperti kekuatan dan permeabilitas.

Pada penentuan sifat fisis tanah dapat dilakukan dengan melaksanakan serangkaian uji percobaan di laboratorium. Percobaan yang dilakukan untuk mencari nilai berat jenis, kadar air, analisa saringan dan batas-batas plastisitas.

2.5.1. Berat Jenis

Berat jenis adalah suatu perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dalam volume yang sama pada suhu 40°C. Dalam hal ini dapat menunjukkan perbandingan kerapatan dari partikel yang didapat secara keseluruhan. Penentuan berat jenis sangat penting dalam penentuan laju sedimentasi, pergerakan partikel oleh air dan angin. Berikut persamaan yang digunakan untuk mengetahui berat jenis suatu sampel tanah.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Keterangan : G_s = Berat jenis
 γ_s = Volume butiran padat
 γ_w = Berat volume air

Setelah mendapatkan hasil dari persamaan penentuan berat jenis pada tanah yang ada diatas melalui uji tes yang dilaksanakan di laboratorium maka untuk menentukan jenis tanah yang didapat melalui hasil ditentukan melalui Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Berat Jenis Tanah (Hardiyatmo, 2002)

No	Jenis Tanah	Berat Jenis
1	Kerikil	2,65 – 2,68
2	Pasir	2,65 – 2,68
3	Lanau Tak Organik	2,62 – 2,68
4	Lempung Organik	2,58 – 2,65
5	Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
6	Humus	1,37
7	Gambut	1,25 – 1,80

2.5.2. Kadar Air

Kadar air dinyatakan dalam bentuk persen volume yaitu persentase volume air terhadap volume tanah. Pada uji kadar air bertujuan untuk memisahkan antara tanah dan air yang berada dalam tanah yaitu dengan cara menghilangkan kadar air yang berada didalam tanah menggunakan oven dengan suhu 100°C - 110°C untuk waktu tertentu. Jumlah air yang hilang saat pengeringan merupakan jumlah air yang terkandung didalam sampel tanah tersebut. Kadar air dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s). Untuk menentukan jumlah kadar air yang terkandung pada tanah dapat menggunakan persamaan berikut.

$$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

Keterangan : w = Kadar air.

W_1 = Berat cawan.

W_2 = Berat cawan + berat tanah basah.

W_3 = Berat cawan + berat tanah kering.

Setelah mengetahui jumlah kadar air yang didapatkan melalui persamaan diatas maka jenis tanah tersebut dapat dilakukan klasifikasi berdasarkan kadar air melalui tabel 6 yang ada dibawah.

Tabel 6. Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Kadar Air (Braja M. Das, 1985)

Tanah Tipe Lempung	Kadar Air (%)
Kaku	21%
Lembek	30% - 50%
Lunak	90% - 120%

2.5.3. Analisa Saringan

Uji analisa saringan dapat digunakan sebagai penentuan jenis tanah yang di uji, yaitu dengan 2 metode antara lain metode USCS dan metode AASHTO. Berikut penjelasan dari masing-masing metode tersebut.

a. Klasifikasi Tanah Menggunakan Metode USCS

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation (USBR)* dan *United State Army Corps of Engineer (USACE)*. Kemudian *American Society for Testing and Materials (ASTM)* telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, antara lain:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Symbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau **S** untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).

2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$). Kelompok dengan symbol diawali dengan **M** untuk lanau inorganic (*inorganic silt*), atau **C** untuk lempung inorganic (*inorganic silt*), atau **O** untuk lanau dan lempung organic. Simbol **PT** digunakan untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organic tinggi. Terdapat symbol lain yang digunakan untuk klasifikasi.

b. Klasifikasi Tanah menggunakan Metode AASHTO.

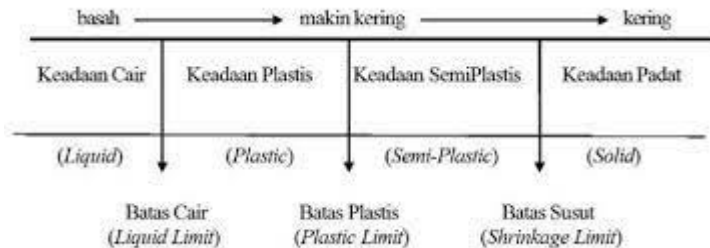
Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria :

1. Krikil : fraksi melewati saringan 75 mm (3 inc) dan tertahan pada saringan no 10 (2 mm).
2. Pasir : fraksi melewati saringan no 20 (2 mm) dan tertahan pada saringan no 200 (0,075 mm).
3. Lumpur dan lanau : fraksi melewati saringan no 200.

2.5.4. Uji Batas-Batas Konsisten (*Atterberg Limit*)

Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas *Atterberg* (yang mana diambil dari nama peneliti pertamanya yaitu Atterberg pada tahun 1911). Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi tersebut yang mana bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung. Bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel seedangkan jika kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan.

Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu: padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8 Batas-batas Atterberg

Adapun yang termasuk ke dalam batas-batas Atterberg antara lain :

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentasi kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3 mm mulai retak-retak, putus atau terpisah ketika digulung.

3. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis yang merupakan interval kadar air yang masih bersifat plastis

2.6. Pemasatan Tanah

Pemasatan tanah merupakan proses pemberian energi mekanik seperti penggilasan (*rolling*) dan pergetaran (*vibrating*) pada butiran tanah, udara dan air sehingga tanah akan berkurang dengan mengeluarkan udara yang ada pada pori-pori tanah, untuk pemasatan tanah di area konstruksi dapat dilakukan dengan

berbagai cara yang mana salah satunya dengan menggilang. Sedangkan untuk pemadatan di laboratorium dapat dilakukan dengan cara, yaitu *Standart Compaction Test* dan *Modified Compaction Test*.

Pengujian pemadatan tanah dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu nilai kadar air pada berat kering maksimum, kadar air optimum yang didapat dari hasil pengujian pemadatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas. Pemadatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*, pengujian ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu. Pemadatan tanah lempung yang dilakukan secara benar akan memberikan kuat geser yang tinggi pada tanah sedangkan stabilitas terhadap kembang susut tergantung dengan jenis material yang digunakan, tingkat dari kepadatan tanah diukur melalui berat volume kering tanah yang didapatkan yang dimana jika berat volume kering akan naik saat kadar air dalam tanah meningkat (pada saat dipadatkan).

Jenis tanah (distribusi ukuran butiran), bentuk butiran tanah, gravitasi khusus bagian tanah, jumlah serta jenis mineral lempung yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar untuk menentukan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut. Dalam pemadatan tanah ada empat faktor yang mempengaruhi pemadatan tanah, yaitu :

1. Usaha pemadatan (energi pemadatan)
2. Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya)
3. Kadar air
4. Berat isi kering

Rumus :

$$\text{Berat isi kering} = \frac{\text{Berat tanah}}{1000}$$

$$\text{Berat isi kering} = \frac{\text{Berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})}$$

$$\text{Volume tanah kering} = \frac{\text{Berat tanah kering}}{G_s}$$

$$ZAV = \frac{G_s \cdot y_w}{1 + \left(\frac{\text{Kadar air asumsi}}{100}\right)} \cdot G$$

2.7. California Bearing Ratio (CBR)

CBR (*California Bearing Ratio*) suatu uji pada tanah dengan melakukan perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standart load*) yang dinyatakan dalam bentuk persen, yang dimana harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standart berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR 100% dalam memikul beban. Metode CBR sendiri adalah metode yang dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara menilai kekuatan dasar jalan (*subgrade*). Terdapat beberapa jenis CBR yang digunakan untuk menentukan perbandingan antara beban percobaan dan beban standart, yaitu :

2.7.1. Jenis-jenis CBR

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR terbagi atas 3 :

a. CBR Lapangan

CBR lapangan atau yang dapat disebut juga CBR *inplace* atau *fieldinplace* dengan kegunaan sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah yang ada dilapangan pada saat itu, yang umumnya digunakan pada perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak dipadatkan lagi
2. Mengontrol apakah kepadatan yang telah diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan, pemeriksaan ini tidak umum digunakan. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

b. CBR Lapangan Rendaman

CBR lapangan rendaman ini berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli dilapangan pada keadaan jenuh air dan mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum, metode ini sering dilakukan pada daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, terletak pada daerah yang badan jalannya sering terendam air. Untuk pemeriksaan sendiri dilakukan pada musim kemarau dengan cara mengambil contoh tanah dalam tabung (*mold*) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Dimana tabung berisi contoh tanah tersebut dikeluarkan dan direndam kedalam air selama beberapa hari sambil mengukur pengembangannya sampai pengembangan pada tanah tersebut tidak terjadi lagi, pada saat itulah baru dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.

c. CBR Laboratorium

Tanah dasar area konstruksi baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasarnya merupakan kemampuan lapisan tanah yang

memikul beban setelah tanah itu dipadatkan, CBR ini disebut CBR Laboratorium karena dilaksanakan di Laboratorium.

2.7.2. Pengujian Kekuatan dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besar CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch dengan kecepatan gerak 0,005 inc/menit, *proving ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). Penentuan nilai CBR yang umumnya digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,1"} = \frac{A}{3000} \times 100\%$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,2"} = \frac{B}{4500} \times 100\%$$

Keterangan : A = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1”

B = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2”

Setelah melakukan perhitungan akan didapat dua nilai CBR, kemudian diambil nilai CBR yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR dan ditabelkan bersama berat isi kering. Kemudian dimasukkan kedalam grafik yang dimana titik koordinat pada grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai CBR dan berat isi kering tanah.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi sampel

Lokasi untuk pengambilan sampel penelitian ini pada daerah yang mayoritas memiliki kondisi tanah lempung yang diambil dari referensi Kementerian ESDM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral). Lokasi untuk pengambilan sampel tanah berada di daerah Kampung Projo, Sena, Kec. Batang Kuis, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara. Berdasarkan referensi ESDM lokasi tersebut terletak di peta sebaran tanah lempung untuk daerah Sumatera Utara.



Gambar 9. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah (Google maps, 2023)

3.2. Lokasi Pengujian.

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Medan. Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian pengujian yaitu pengujian untuk tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan menggunakan pasir.



Gambar 10. Lokasi Pengujian (Google Maps, 2023)

3.3. Cara Pengambilan Sampel

Sampel tanah yang diambil meliputi tanah terganggu (*disturb soil*) yaitu tanah yang telah terjamah atau sudah tidak alami lagi yang telah terganggu oleh lingkungan luar, dan tanah tidak terganggu (*undistrub soil*) yaitu tanah yang belum terjamah atau masih alami yang tidak terganggu oleh lingkungan luar. Akan tetapi dalam penelitian ini cukup dengan pengambilan sampel dengan cara *disturb soil* (tanah terganggu). Sampel tanah diambil di beberapa titik pada lokasi pengambilan sampel menggunakan cangkul sedalam 50 cm, hal ini dilakukan agar membuang tanah-tanah yang mengandung humus dan akar-akar tanaman. Sampel tanah yang diambil merupakan sampel tanah yang mewakili tanah di lokasi pengambilan sampel.

Sampel tanah tersebut digunakan untuk pengujian analisis saringan, batas-batas konsistensi, pemadatan (*Proctor Standart*) dan CBR. Pengambilan sampel tanah terganggu (*disturb*) cukup dimasukkan kedalam karung.

3.4. Benda Uji

1. Sampel tanah yang diuji pada penelitian ini yaitu tanah lunak dengan klasifikasi lempung lunak dengan plastisitas rendah yang berasal dari daerah Kampung Projo, Sena, Kec. Batang Kuis, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara. Meninjau dari penelitian terdahulu yang mengatakan jenis tanah lempung, salah satunya berada di lokasi tersebut. Tanah yang digunakan diayak lolos saringan No. 4 (4,75 mm).
2. Pasir yang digunakan yang diambil dari sungai Desa Marindal I dan II, Kec. Patumbak, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara.

3.5. Metode Pencampuran Sampel Tanah Dengan Pasir

Metode pencampuran *sample* tanah dengan menggunakan pasir adalah : Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pasir sebagai campuran dengan variasi presentase pasir yaitu : 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%

3.6. Data Penelitian

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai Analisis Saringan
2. Nilai Berat Jenis
3. Nilai Kadar Air
4. Nilai Batas *Atterberg*
5. Nilai Pemadatan Tanah
6. Nilai CBR Tanah Asli
7. Nilai CBR Campuran Tanah + Kadar Pasir (sesuai persentasi pasir yang telah ditentukan)

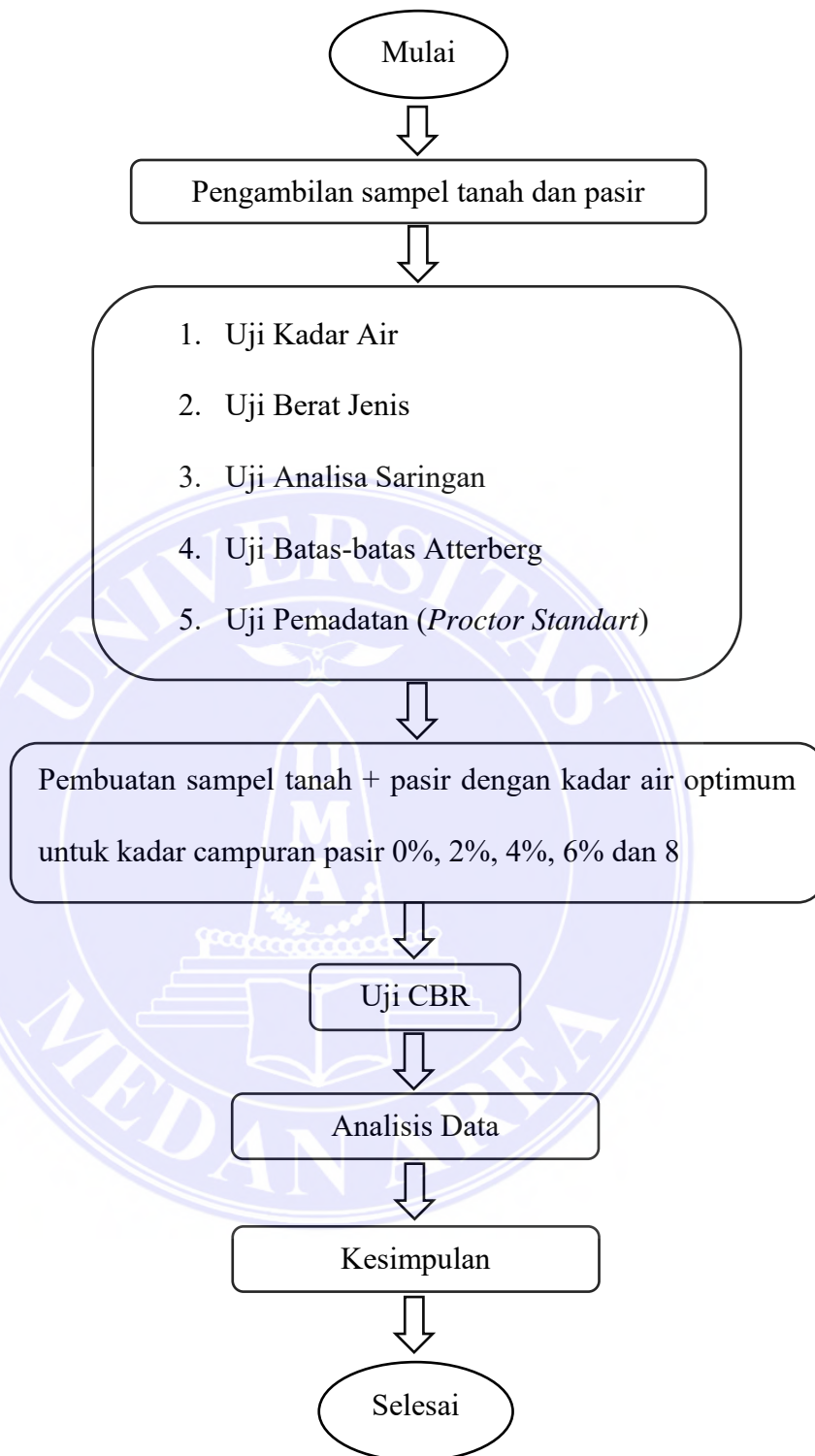
3.7. Urutan Prosedur Penelitian.

1. Mengitung terlebih dahulu nilai kadar air yang terkandung pada sampel tanah asli
2. Melakukan Uji Analisa Saringan pada sampel tanah asli
3. Melakukan Uji Berat jenis pada sampel tanah asli
4. Melakukan Uji Batas *Atterberg* pada sampel tanah asli
5. Melakukan Uji Pemadatan Tanah pada sampel tanah asli
6. Melakukan Uji CBR (*California Bearing Ratio*) pada sampel tanah asli
7. Memberikan kode/nama pada mold untuk masing-masing sampel yang akan digunakan untuk proses pemadatan.

3.8. Analisis Hasil Penelitian

Semua hasil yang didapat dari pelaksanaan penelitian akan ditampilkan dalam bentuk table, grafik hubungan serta penjelasan yang didapat dari :

1. Uji Analisa Saringan
2. Uji Berat Jenis
3. Uji Batas *Atterberg*
4. Uji Pemadatan Tanah Asli
5. Uji Pemadatan Campuran Tanah + Kadar Pasir (persentasi kadar pasir yang digunakan adalah 2%,4%, 6% dan 8%)
6. Uji CBR tanah asli
7. Uji CBR Campuran Tanah + Kadar Pasir (persentasi kadar pasir yang digunakan adalah 2%, 4%, 6% dan 8%)



Gambar 12. Bagan Alir Percobaan (Analisis Peneliti, 2023)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian tugas akhir yang telah dilakukan di laboratorium dan hasil dari analisis data tanah asli serta hasil dari tanah dengan campuran pasir sebagai bahan stabilisasi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan pasir pada tanah dapat menambah nilai daya dukung dan stabilitas tanah ini disebabkan karena nilai CBR yang didapat dari pengujian sebelumnya telah mengalami penambahan yang konstan, dimana tidak ada penurunan terhadap nilai CBR yang didapatkan dari beberapa variasi campuran pasir.
2. Pada penelitian ini telah mendapatkan kesimpulan bahwa penambahan pasir dapat menambah nilai stabilitas dan daya dukung tanah, oleh karena itu penambahan pasir terhadap daya dukung tanah dapat menjadi suatu alternatif yang baik untuk menambah nilai daya dukung tanah yang sebelumnya pada persentase yang buruk dapat menjadi baik tergantung seberapa besar persentase pasir yang ditambahkan pada tanah tersebut. Semakin besar jumlah persentase pasir yang ditambahkan pada tersebut maka semakin besar juga daya dukung dan stabilitas tanah yang bertambah.
3. Pengaruh penambahan pasir terhadap tingkat daya dukung tanah lempung sangat baik dikarenakan pasir adalah material yang sangat mudah diperoleh pada tiap daerah dengan harga yang masih terjangkau sehingga dapat memudahkan tiap orang yang ingin melakukan perbaikan nilai daya dukung

dan stabilitas pada tanah yang ingin dilakukan pembangunan. Sehingga dapat menghindari kegagalan bangunan yang terjadi karena daya dukung tanah yang rendah.

5.2. Saran

Berdasarkan pada pengujian yang telah dilakukan, telah diperoleh beberapa saran, antara lain sebagai berikut.

1. Peneliti dapat melakukan suatu penelitian selanjutnya untuk menemukan alternatif yang baru untuk memperbaiki daya dukung tanah.
2. Peneliti selanjutnya dapat melakukan kombinasi bahan pasir dengan bahan campuran lainnya yang mudah diperoleh, harga terjangkau dan dapat menambah daya dukung tanah

DAFTAR PUSTAKA

- Ambri, S. (2019, Oktober). Laporan Metodologi Penelitian Kadar Air. Politeknik Negeri Ketapang.
- Aribudiman, I. N., Putra, T. G. S., & Basoka, I. W. A. (2014). KARAKTERISTIK TANAH LEMPUNG EKSPANSIF YANG DITAMBAHKAN SEMEN DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI SUBGRADE JALAN. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol, 18(2)*.
- ARSIL, ANANDA. (2023). "Pengaruh Penambahan Pasir Pinrang Sulawesi Selatan Terhadap Tingkat Kepadatan Dan Daya Dukung Tanah Lempung Lunak". Universitas Islam Indonesia Yogyakarta .
- Aziz, M. M., & Safitri, R. (2015). PENINGKATAN KEKUATAN TANAH DASAR JALAN TANJUNG API-API MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH CHEMICAL GEOPOLYMER DITINJAU DARI NILAI CBR (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Budi, Ksatria. 2013. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO dan USCS. <https://www.ilmutekniksipil.com/teknik-pondasi/sistem-klasifikasi-tanah-aashto-dan-uscs>. Diakses pada 15 Februari 2023.
- Bowles, J. E. 1991. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Edisi kedua. Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M, 1995. Mekanika Tanah Jilid II. Erlangga. Jakarta.
- Fahriana, Nina, et al. "Analisis Klasifikasi Tanah Dengan Metode USCS (Meurandeh Kota Langsa)." *JURUTERA-Jurnal Umum Teknik Terapan 6.02* (2019): 5-13.
- Farid, M., Harianto, E. T., & Nur, S. H. (2016). STUDI HUBUNGAN NILAI PLASTISITAS DAN NILAI N-SPT TANAH TERHADAP KADAR MINERAL LEMPUNG EKSPANSIVE (MONTMORILONITE, ILLITE, DAN KAOLINITE).
- Ferdian, F., Jafri, M., & Iswan, I. (2015). Pengaruh Penambahan Pasir terhadap tingkat kepadatan dan daya dukung tanah lempung organik. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 3(1)*, 145-156.
- Habiburrahman, Habiburrahman, and Nurly Gofar. "Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Sifat Pemadatan Tanah Lempung." *Bina Darma Conference on Engineering Science (BDCES)*. Vol. 3. No. 2. 2021.

- Hardiyatmo, H. C. 1992. *Mekanika Tanah I*. Gramedia, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Stabilitas Tanah Untuk Pekerjaan Jalan Raya*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kasjuaji, Kidhot. 2018. Ciri-Ciri Tanah Lempung, <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/tanah/ciri-ciri-tanah-lempung>, diakses pada 12 Februari 2023.
- MANGIN, ANALISIS STABILISASI TANAH LEMPUNG DESA. Universitas Semarang.
- Mahardika, Andrew Ghea Mahardika Ghea, and Muhammad Fakhri Pratama. "Pengujian pemadatan tanah metode standard proctor dengan alat uji pemadat standard." *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala* 15.2 (2020): 64-68.
- Pardoyo, Bambang, and Arif Hidayat. "Pengaruh Kadar Air Optimum dengan Variasi Kepadatan terhadap Potensi dan Tekanan Mengembang pada Tanah Ekspansif." *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL* 14.2: 119-128.
- Prasenda, C., Setyanto, S., & Iswan, I. (2015). Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan dan Daya Dukung Tanah Lempung Lunak. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3(1), 91-102.
- Reno, Argo, Fatma Sarie, and Suradji Gandi. "PENGARUH PENAMBAHAN PASIR PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP NILAI DAYA DUKUNG DAN KUAT TEKAN BEBAS." *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan* 4.1 (2020): 63-72.
- Saleh, A., & Anggraini, M. (2019, April). Metoda Perbaikan Tanah Lunak dengan Penambahan Pasir. In *Prosiding Seminar Nasional Pakar* (pp. 1-4).
- Widada, S., Afifah, H., Said, S., & Hendaryono, H. (2019). Jenis Mineral Lempung Endapan Kuarter Pantai Semarang Jawa Tengah dan Potensinya sebagai Lumpur Pemboran. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 3(1), 1-10.

DOKUMENTASI



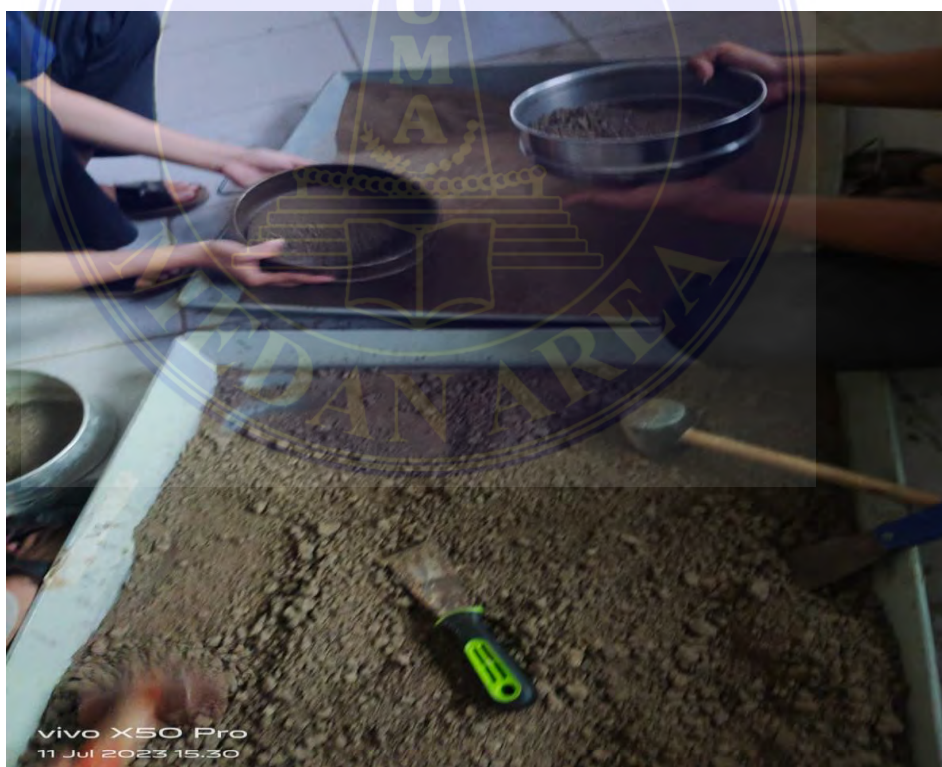
Lokasi Pengambilan Sampel Tanah



Penggalian Lokasi Pengambilan Sampel



Pengambilan Sampel Tanah



Pengayakan Sampel Tanah Sebelum Pengujian





































