

**STABILITASI TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN
ZEOLIT TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS**

(Studi Penelitian)

Diusun oleh :

FARIDA MUNTHE

19310081

Disahkan Oleh:

Dosen Pembimbing I



Surya Ria N. Pamintan, ST., MT.

Dosen Pembimbing II



Ir. Yetty Riris Saragi, ST., MT, IPU, ACPE

Dosen Penguji I



Bartholomeus, ST., MT

Dosen Penguji II



Ir. Johan O. Simaniurak, ST., MT, IPM
ASEAN Eng

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Yetty Riris R. Saragi, ST., MT, IPU, ACPE

Ketua Program Studi



Ir. Yetty Riris Saragi, ST., MT, IPU, ACPE

BAB I

PENDAHULUAN

Tanah merupakan dasar dari suatu konstruksi bangunan sipil yang menerima dan menahan beban dari suatu struktur di atasnya. Terdapat beberapa masalah yang harus dihadapi oleh seorang pekerja sipil di lapangan, dimana sering lokasi tanah yang memiliki karakteristik tanah yang kurang baik, sehingga untuk menambah kekuatan dan memperbaiki daya dukungnya perlu dilakukan upaya stabilitasi pada tanah di lokasi tersebut. Tanah yang stabil tidak akan mendatangkan masalah tetapi bagaimana tanah yang tidak stabil seperti tanah lempung. Tanah diklasifikasikan menjadi 3 kelompok utama yaitu tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah berorganik tinggi. Tanah yang sering dijumpai adalah tanah lempung (*clay*), biasanya tanah lempung mempunyai nilai daya dukung dan kuat geser tanah yang kecil, sehingga sebelum digunakan harus dilakukan stabilitasi terlebih dahulu.

Berastagi merupakan daerah wisata yang penuh dengan keindahan alam. Jenis tanah di Berastagi didominasi oleh tanah lempung. Namun, pada kenyataannya tanah lempung memiliki sifat yang tidak stabil yaitu tanah kohesif yang mempunyai kekuatan geser rendah serta memiliki daya dukung yang rendah. Dengan begitu pembangunan konstruksi pada daerah Berastagi haruslah memperhatikan kestabilan tanah untuk mengurangi resiko-resiko yang fatal.

Dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan variasi persentase yang efektif dalam penambahan zeolit dan pengaruh penambahan zeolit terhadap perubahan sifat fisis tanah dari segi nilai Kuat Tekan Bebas (UCT). Penelitian ini dilakukan di laboratorium, dengan melakukan pengujian sifat-sifat fisis tanah dan kuat dukung tanah (kuat tekan bebas) dengan variasi penambahan zeolit 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30%.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana pengaruh stabilitasi tanah dengan tanah lempung dan Zeolit terhadap kuat tekan bebas.
- b) Bagaimana karakteristik tanah lempung yang digunakan pada penelitian.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah:

- a) Untuk mengetahui karakteristik tanah lempung yang digunakan pada penelitian.
- b) Memprediksi sampai sejauh mana pengaruh Zeolit sebagai bahan *additive* meningkatkan kuat tekan bebas tanah yang telah distabilitasi terhadap tanah asli dengan menggunakan pengujian kuat tekan bebas *Unconfined Compression Test*.

1.3 Batasan Penelitian

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian dibatasi pada:

- a) Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung.
- b) Bahan stabilitasi yang digunakan adalah zeolite.
- c) Pengujian yang dilakukan adalah pengujian sifat fisik tanah dan sifat mekanis tanah.
- d) Jenis pengujian yang dilakukan adalah Uji Kuat Tekan Bebas *Unconfined Compression Test (UCT)*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a) Manfaat dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh zeolite terhadap nilai kuat tekan bebas sebagai bahan stabilitasi tanah lempung, sehingga bisa dijadikan salah satu bahan campuran yang

direkomendasikan sebagai salah satu bahan stabilisasi tanah yang baik untuk perbaikan lapisan tanah pada suatu pekerjaan konstruksi.

1.5 Sistematika penulisan

Dalam penelitian ini diupayakan melakukan pembahasan secara detail menyesuaikan kajian-kajian berdasarkan kegunaan dan kepentingan dalam bentuk sistematika pembahasan yang dijabarkan sebagai berikut.

a) Bab I Pendahuluan

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, Batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

b) Bab II Tinjauan Pustaka

Berisi uraian tentang teori-teori yang mendukung tema yang dibahas berasal dari buku-buku maupun dari tulisan-tulisan lain yang ada hubungannya dengan tugas akhir dilakukan.

c) Bab II Metode Penelitian

Bagian ini berisi uraian tentang kerangka pikir (flowchart), lokasi penelitian, metode penelitian, waktu penelitian dan metode Analisa data yang dilakukan.

d) IV Analisis Dan Pembahasan

Berisi tentang penyajian hasil penelitian dan pengolahan data serta pembahasan.

e) Bab V Kesimpulan Dan Saran

Bab ini memberikan kesimpulan dari hasil penelitian secara singkat dan jelas sebagai jawaban dari masalah yang diangkat dalam penelitian serta memberikan saran-saran sehubungan dengan analisis yang telah dilakukan.

1.6 Keaslian Penulisan

Dalam menentukan keaslian penelitian ini, maka dirangkum beberapa sejenis terdahulu untuk mengetahui perbedaan yang ada dalam penelitian-penelitian sebelumnya dengan analisis yang telah dilakukan.

Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
1.	M.IQBAL Hermawan, 2016/ Kolerasi Antara Kuat Tekan Bebas Dengan Kuat Geser Langsung Pada Tanah Lempung Yang Dicampur Dengan Zeolit.	Tujuan penelitian ini memprediksi sampai sejauh mana pengaruh Zeolit sebagai bahan <i>additive</i> meningkatkan kuat tekan Bebas tanah (qu) yang telah Distabilisasi terhadap tanah asli dengan menggunakan tes UCT.	Hasil penelitian Menyimpulkan bahwa penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan kepada ilmu pengetahuan tentang sifat fisik dan mekanik tanah lempung dengan campuran zeolite.

2.	Diah Tasya, 2023 Pengaruh Substitusi Pasir Zeolit Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung.	Mengetahui karakteristik Tanah lempung yang digunakan pada penelitian. Dan untuk mengetahui variasi campuran zeolit dengan tanah terhadap nilai ,kuat tekan bebas.	Hasil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tentang pengaruh penambahab pasir zeolit terhadap nilai <i>Unconfined Compression Strength Test (UCT)</i> pada tanah lempung di kampus Universitas Andalas dengan persentase pasir zeolit sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%.
3.	Atina Rezki, 2013/ Kajian Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Gypsum Dan Abu Ampas Tebu.	Tujuan penelitian yaitu Mengetahui pengaruh penambahan semen dan abu ampas tebu pada tanah lempung (<i>clay</i>) terhadap <i>index properties</i> . dan Mengetahui perkembangan Kuat tekan bebas dari tanah yang distabilisasi semen dan abu ampas tebu pada umur 7 hari.	Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk mengurangi Permeabilitas tanah Lempung daan memperbaiki Baiki sifat-sifat tanah lempung terutama sifat mekanik

Sumber: Penulis

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah dedefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995). Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati (Dokuchaev, 1870).

Tanah merupakan material geologi yang berada dibagian kerak bumi yang digunakan untuk media bekerja atau untuk mendirikan bangunan di atasnya (Hakam, 2008). Jadi dapat disimpulkan pengertian tanah adalah material geologi yang berada pada bagian kerak bumi yang terdiri dari mineral-mineral padat dan bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair udara yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel padat tersebut.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-keompok dan subkelompok berdasarkan pemaikannya (Das, 1995). Sistem klasifikasi tanah yang didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari Analisa saringan dan plastisitasnya. Tujuan dari pengklasifikasian tanah ini adalah untuk memperkirakan sifat fisis tanah dengan mengelompokkan dengan kelas yang sama yang sifat fisisnya diketahui dan menyediakan metode yang akurat mengenai deskripsi tanah. Kebanyakan kalsifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Sistem klasifikasi merupakan sistem indentifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan konstruksi.

Butiran tanah dapat diklasifikasikan menurut beberapa Lembaga yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*), ASTM (*American Society For Testing and Material*) MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), AASHTO (*American Association of state Highway and Transportation Officials*) *Intenational Nomenclature*, dan USDA (*U.S Departement of Agriculture*). Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah adalah USCS (*Unified Soil Classification System*), sistem ini didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitasnya. Selain itu, sistem lainnya yangn juga dapat dibuat oleh AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

Beberapa sistem klasifikasi telah dikembangkan dan pengklasofikasian tersebut terbagi menjadi dua yaitu:

1. Sistem Klasifikasi tanah menurut USCS
2. Sistem Klasifikasi tanah menurut AASHTO

2.1.1 Sistem Klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System)

Sistem ini berapa kali dikembangkan oleh Cassagrande (1941) sebagai sebuah metode untuk pekerjaan pembuatan lapangan terbang oleh *Army Corps of Engineers* pada perang dunia II. Pada saat ini sistem ini telah dipergunakan secara luas oleh para ahli Teknik sipil. Sistem ini selain digunakan untuk desain lapangan terbang juga untuk spesifikasi pekerjaan tanah untk jalan. Pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh ASTM (*American Society for Testing and Material*) sebagai metode klaifikasi tanah (ASTM D2487).

Klasifikasi tanah berdasarkan USCS (Das, 1995), tanah dikelompokkan menjadi:

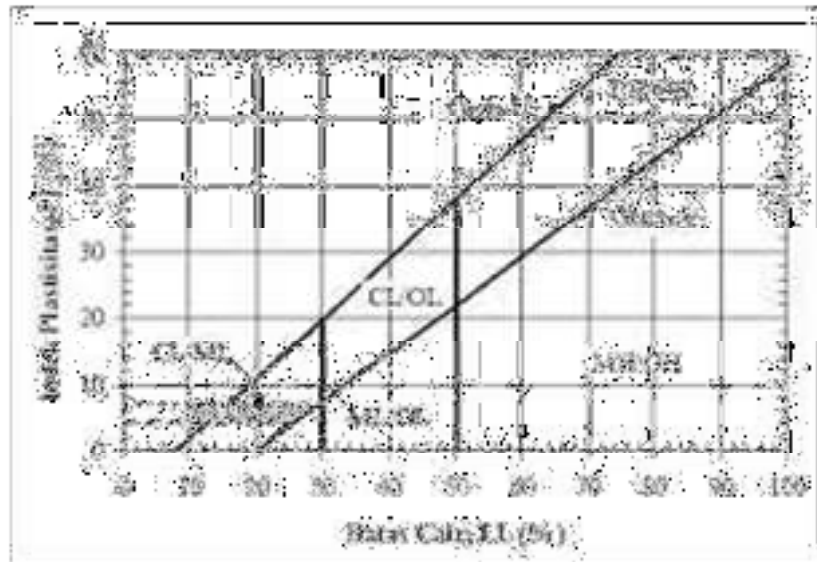
- a. Tanah Berbutir Kasar (Coarse Grained Soil)

Meupakan tanah yang kurang daro 50% dari berat total contoh tanah lolos saringan No.200 (0.075mm). Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G untuk kerikil (gravel) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) dan S untuk pasir (*sand*) atau tanha berpasir (*sandy soil*).

b. Tanah Berbutir Halus (*Fine Grained Soil*)

Merupakan tanah yang lebih dari 50% berat total contoh tanha yang lolos saringan No.200 (0,75 mm). Simbol kelompok diawali engan huruf awal M untuk lanau anorganik (*anorganik silt*), C untuk lempung anorganik (*anorganik clay*), O untuk lanau organic dan lempung organic. Simbol Pt digunakan untuk hgambut (peat0, dan tanah dengan kandungan organic tinggi. Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah W untuk gradasi baik (*well graded*), L plastisitas rendah (*low plasticity*) dan H plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Gambar 2.1 Menunjukkan Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi USCS.



Gambar 2.1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi USCS

(Sumber: Das, 1995)

Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan *indeks plastisitas* terletak dibawah garis A dan lempung berada di atas garis A. Lempung organic adalah pengecualian dari peraturan di atas karena batas cair dan indeks plastisitas yang berada dibawah garis A. Lanau, lempung dan tanah organic dibagi lagi menjadi batas cair yang rendah (L) dan tinggi (H). Garis pembagi antara batas cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50 seperti:

- 1) Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau organik dengan plastisitas relative rendah, juga termasuk tanah butiran lepas, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung *kaolinite illite*.

- 2) Kelompok CH dan CI terutama adalah lempung organik. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung kepasiran atau lempung lanau.
- 3) Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik termasuk dalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas pada kelompok ML dan MH.

Untuk klasifikasi yang benar perlu memperhatikan factor-faktor berikut ini.

1. Persentase butiran yang lolos ayakan no.200 (fraksi halus).
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan no.40.
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity Coefficient, Cu*) dan koefisien gradasi (*Gradation Coefficient, cc*) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan no.200.
4. Batas cair dan *indeks plastisitas* bagian tanah yang lolos ayakan no.40.

Sistem klasifikasi AASHTO yang di pakai diklasifikasikan kedalam kelompok tujuh kelompok besar , yaitu A-1 sampai dengan A-7 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS)

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar saringan No. 200 Kerikil 50% atau lebih kasar saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-batu	
		GC	Kerikil berlemung, campuran kerikil-pasir-lemung	
	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
	SU		Pasir berlemung, campuran pasir-lemung	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlemung
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung lempas, lempung bedakan, lempung "lekas" (low clay)
OL			Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus : Kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200 : GGM, GGP, GCM, GGP, GGM, GGP, GGM, GGP, GGM, GGP.

Klasifikasi berdasarkan kriteria untuk GW :
 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$
 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3

Klasifikasi berdasarkan kriteria untuk SW :
 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$
 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3

Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$
 Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$

Bila batas Atterberg berada di antara garis A dan garis B, maka dipakai simbol

Diagram Plastisitas:
 Untuk mengklasifikasi lempung berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang di atas berarti batuan klasifikasinya menggunakan dua simbol

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488

(Sumber: Hardiyatno, 2002)

2.2.2 Sistem klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Sistem klasifikasi tanah *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Kemudian sistem ini mengalami beberapa perbaikan sampai saat ini versi yang berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on The Classification of materials for Subgrade and Granular Type Road of The Highway Research Board* pada tahun 1945.

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (subbase) dan tanah dasar (subgrade). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya.

Sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada kriteria dibawah ini:

1. Ukuran butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).

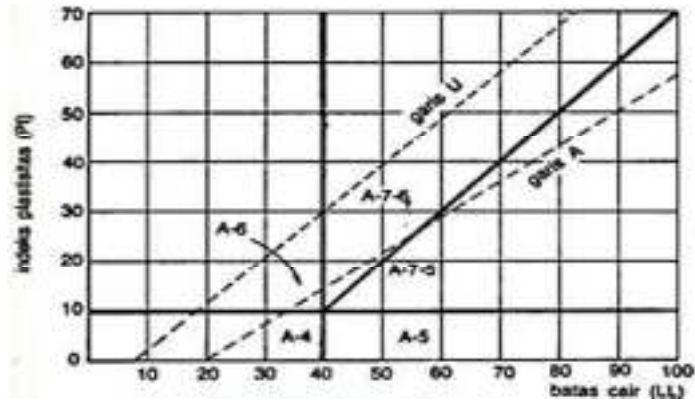
Pasir : bagian bawah yang lolos ayakan No.10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No.200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2. Plastisitas

Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak retak atau remuk (Hardiyatmo, 2002). Tanah berbutir halus yang mempunyai *indeks plastisitas*, $PI \leq 10$ disebut tanah lanau. Tanah berbutir halus dengan indeks plastisitas, $PI \geq 11$ disebut tanah lempung.

Gambar 2.2 menunjukkan grafik plastisitas untuk klasifikasi tanah kelompok A-2, A-4, A-5, A-6 dan A-7, dan Tabel 2.2 menunjukkan Klasifikasi Tanah (AASHTO).



Gambar 2.2 Grafik Platisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau-lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6*	
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Analisa ayakan (%lolos) No. 10	Maks 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
No. 40	Maks 50	Maks 50	Min 51	-	-	-	-	-	-	-	-	
No. 200	Maks 50	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas(PI)	-	-	-	Maks 40 Min 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Maks 11	Maks 41 Min 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11	
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung		
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai buruk				

(Sumber: Das, 1995)

Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*. Indeks kelompok (*group index*).

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad 2.1$$

dengan,

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no.200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastis

2.3 Tanah Lempung

Menurut Susanto D. (2015), tanah lempung sebagai tanah dengan ukuran mikrokopis sampai dengan submikrokopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan, Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan permeabilitas lempung sangat rendah. Sehingga bersifat plastis kadar air sedang. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi juga kandungan mineral di dalamnya. ASTM D-653 memberikan Batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel berukuran 0,002 mm sampai 0,005 mm. Tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel berukuran $\leq 0,002$ mm apabila lebih dari 50% (Bowles, 1991). Sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antar lain ukuran butiran-butiran halus $> 0,002$ mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat kohesif, kadar kembang susut dan proses konsolidasi lambat (Hardiyatmo, 2002).

Kembang susut pada tanah lempung disebabkan oleh kandungan air di dalam tanah itu sendiri, dimana jika kadar air di dalam tanah lempung berkurang atau kering maka tanah tersebut akan menyusut dan menyebabkan tanah mengalami pecah-pecah di permukaannya serta kekuatan daya dukung dapat meningkat, sebaliknya jika kandungan air bertambah, maka tanah lempung akan mengalami pengembangan dan kekuatan daya dukungnya dapat menjadi berkurang. Kondisi

tanah lempung seperti ini dapat memicu permasalahan pada kondisi struktur konstruksi terutama pada konstruksi jalan raya seperti dapat menimbulkan perkerasan jalan menjadi bergelombang, retak, turun dan yang paling parah bisa menjadi patah. Supaya dapat memahami sifat dan perilaku dari tanah lempung diperlukan pengetahuan tentang tanah lempung *ekspansif* dan mineral lempung. Konsistensi dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pengembangan.

2.3.1 Lempung dan Mineral Penyusun

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedral dan aluminium oktahedra. Setiap unit tetrahedral terdiri dari empat atom oksigen yang mengelilingi satu atom silikon dan unit oktahedra terdiri dari enam gugus ion hidroksida (OH) yang mengelilingi atom aluminium (Das, 1995).

Ciri tanah lempung adalah sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada kadar air yang lebih tinggi lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Kohesif merupakan basah tanah yang memiliki kemampuan gaya Tarik menarik yang besar sehingga partikel-partikel itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk itu diubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa Kembali ke bentuk aslinya dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah. Lempung merupakan mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi berupa hydrous aluminium magnesium silikat dalam jumlah yang besar.

Sumber utama dari mineral lempung adalah pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung (Bowles, 1991):

1. Feldspar ortoklas
2. Feldspar plagioklas
3. Mika (muskovit)

Lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite, montmorillonite dan illite*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran yang sesuai dengan Batasan yang ada (*mika group, serpentinite group*). Satuan struktur dasar mineral lempung terdiri dari silica tetrahedron dan aluminium octahedron. Satuan-satuan dasar tersebut Bersatu membentuk struktur lembaran. Lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite, montmorillonite dan illite*) dan mineral- mineral lain yang mempunyai ukuran yang sesuai dengan batasan yang ada (*mika group, serpentinite group*). Satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari silica tetrahedron dan aluminium octahedron. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran.

Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari kombinasi susunan satuan lembaran dasar. Yang membedakan jenis-jenis mineral adalah kombinasi tumbukan lembaran dan macam ikatan antara masing- masing lembaran.

1. Kaolinite

Struktur utama mineral lempung. Bagian dari struktur ini adalah lembaran silika tetrahedron yang digabung dengan aluminium octahedron. Kombinasi lembaran silika aluminium diperkuat oleh hidrogen sebagai pelekat. Sebuah partikel *kaolinite* bisa mencapai lebih dari seratus tingkat. Gambar koalinite dapat dilihat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Koalinite

(Sumber: Das, 1995)

2. Illite

Gambar 2.4 dibawah Memperlihatkan struktur dasar sebuah lembaran alumina okahedron yang diapit oleh dua lembaran silika tetrahedron. Kombinasi lembaran-lembaran tersebut di atas diberikan satu sama lain dengan perekat (tidak dapat diganti) yang berkekuatan rendah akibat pengaruh ion potassium.

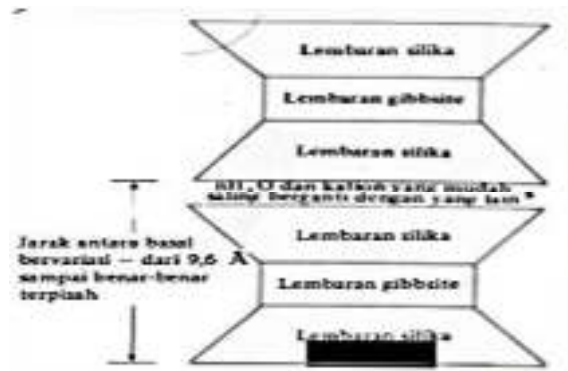


Gambar 2.4 Illite

(Sumber: Das, 1995)

3. Montmorilonite

Mempunyai struktur dasar yang sama dengan *illite*, tetapi dalam bagian octahedral hanya magnesium yang menggantikan sebagai aluminium. Ruangan diantara kombinasi-kombinasi lembaran di atas diisi oleh molekul air dan kation-kation (dapat diganti) selain potassium. Kekuatan ikatan antara kombinasi-kombinasi lembaran ini sangat lemah. Pada *montmorillonite* dapat terjadi (*swelling*) bila ada penambahan air yang terserap diantara kombinasi-kombinasi lembaran tersebut. Gambar 2.5 Menunjukkan kekuatan kombinasi Montmorilonite.



Gambar 2.5 Montmorilonite

(Sumber: Das, 1995)

2.3.2 Sifat umum tanah lempung

Menurut Bowles (1991) beberapa sifat umum mineral lempung adalah:

1. Hidrasi Partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, hal ini disebabkan karena lempung biasanya bermuatan negatif, yaitu partikel dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut sebagai air (*adsorbed water*). Lapisan ini umumnya memiliki tebal dua molekul. Sehingga disebut sebagai lapisan difusi (*diffuse layer*) ganda. Lapisan difusi ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya.

2. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung adalah perbandingan antara indeks plastisitas (IP) dengan presentase, dan dapat disederhanakan dalam persamaan:

$$A = \frac{PI}{\text{Fraksi tan Lempung}} \quad 2.2$$

Dimana presentase lempung diambil sebagai fraksi tanah yang <2µm untuk nilai A (aktivitas)

$A > 1,25$: Tanah digolongkan aktif dan bersifat ekspansif

$1,25 < A < 0,75$: Tanah digolongkan normal

$A < 0,75$: Tanah digolongkan tidak aktif

Tabel 2.3 Aktivitas Tanah Lempung

Minerologi tanah lempung	Nilai aktivitas
<i>Kaolinite</i>	0,4-0,5
<i>Illite</i>	0,5-1,0
<i>Montmorillonite</i>	1,0-7,0

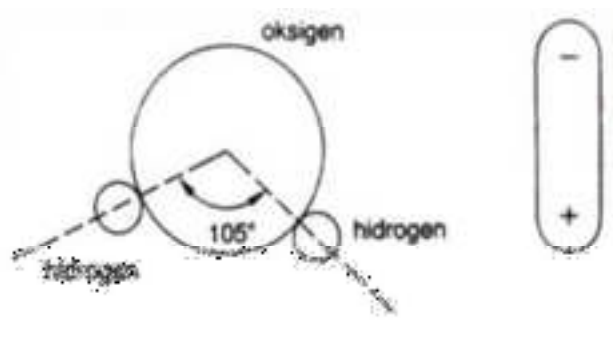
(Sumber: Bowles, 1991)

3. Flukolasi dan Dispersi

Flukolasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung di dalam larutan air akibat mineral lempung umumnya mempunyai $pH > 7$. Lempung yang baru saja terflukolasi dapat dengan mudah didispersikan kembali ke dalam larutan dengan menggoncangkan, menandakan bahwa tarikan antar partikel jauh lebih kecil goncangan.

4. Pengaruh zat cair

Fase air yang berada didalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas atterbeg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Air yang berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negative pada ujung yang berbeda (bipolar). Berikut sifat bipolar dan molekul air dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sifat Bipolar dan Molekul air

(Sumber: Das 1995)

2.3.3 Stabilisasi Tanah

Ketika tanah dilapangan besifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan ataupun memiliki indeks konsistensi yang tidak stabil, permeabilitas yang cukup tinggi, atau memiliki sifat-sifat lain yang tidak diinginkan yang membuatnya tidak sesuai untuk digunakan didalam suatu proyek konstruksi, maka tanah tersebut perlu dilakukan usaha stabilisasi tanah.

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang sering dilakukan proses stabilisasi. Hal ini disebabkan sifat lunak plastis dan kohesif tanaah lempung di saat basah. Sehingga menyebabkan perubahan volume yang besar karena pengaruh air air dan tanah mengembang dan menyusut dalam jangka waktu yang relative.

Menurut Bowles, 1991, bahwa stabilisasi tanah mungkin dilakukan dengan cara berikut ini:

1. Meningkatkan kerapatan tanah
2. Menambahkan material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul.
3. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah)
4. Mengganti tanah yang buruk.

Menurut Darwis (2017), stabilisasi tanah ditinjau dari proses yang terjadi didalam, stabilisasi dibagi menjadi tiga jenis yaitu: statbilisasi mekanis, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimiawi.

1. Stabilisasi fisik

Proses menggunakan energi dari beban dinamis atau beban statis kedalam lapisan tanah, sehingga menyebabkan terjadi dekomposisi baru pada massa tanah, yang berguna memperbaiki karakteristik lapisan tanah yang sesuai dengan tujuan yang diinginkan.

2. Stabilisasi kimiawi

Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambahyang bertujuan untuk memperbaiki sifat sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Jika percampuran bergantung pada kualiytas campuran yang diinginkan.

Perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan.

3. Stabilisasi mekanis

Stabilisasi yang dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam atau lebih yang gradasinya berbeda untuk memperoleh material yang lebih baik yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Percampuran tanah ini dilakukan di lokasi proyek atau di tempat pengambilan bahan timbunan. Material yang telah dicampur kemudian dihamparkan dan didapatkan di lokasi proyek, juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dang menggantinya dengan material granular dari tempat lain.

Prinsip kerja perbaikan tanah secara mekanis adalah dengan energi gilasan, tumbukan dan getaran berperan mendorong udara dan air tanah dari rongga/pori-pori tanah, sekaligus memampatkan rongga menjadi semakin kecil, proses memampatkan tanah juga merubah susunan butir menjadi leih kompak. Cara gilasan dan tumbukan sangat cocok untuk tanah kohesif (berbutir halus), cara gilasan dan getaran untuk tanah *non-kohesif* (berbutir kasar).

2.4 Zeolit

Zeolit adalah mineral yang terbentuk dari kristal batuan gunung berapi yang terjadu karena endapan magma hasil letupan gunung berapi jutaan tahun lalu. Untuk tahapan pengolahan batu zeolite menjadi pasir zeolite (Riyani, 2015) adalah sebagai berikut.

1. Melakukan penambangan zeolite dengan menggunakan palu jika daerah penambangan dekat dengan permukaan, dan denfan cara pengeboman jika kemungkinan besar dilakukan.
2. Penyimpanan bongkahan zeolite.
3. Pengecilan ukuran/ penghancuran (*crushing*)
4. Penghalusan zeolite (penggerusan)
5. *Granuling*/proses pembentukan granual atau pellet
6. Pengeringan

Zeolit merupakan suatu bahan stabilisasi tanah yang sangat cocok digunakan untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah yang tidak stabil atau tanah lunak seperti kadar air tanah lebih dari 50% dan nilai UCT kurang dari 5% serta memiliki kuat tekan dan kuat geser tanah yang rendah. Penambahan zeolit ini akan meningkatkan kepadatan, meningkatkan ikatan antar partikel dalam tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser material tanah, daya dukung, kuat tekan serta kuat geser material tanah, sehingga memungkinkan pembangunan konstruksi di atasnya, untuk mengetahui pengaruh zeolit terhadap tanah lempung, dilakukan pengujian mekanis seperti pengujian kuat tekan bebas dan kuta geser langsung. Berat jenis zeolite relative rendah rata-rata 2,0-2,5. Zeolite memiliki sifat-sifat yaitu dehidrasi, absorpsi, penukar kation, katalis dan penyaring atau pemisah. Terdapat dua jenis zeolit yaitu zeolit alam dan sintetis. Zeolit alam merupakan jenis-jenis zeolit yang tersedia di alam. Zeolit sintetis adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit yang ada di alam dibuat dari bahan lain dengan proses sintetis, dimodifikasi sedemikian rupa sehingga menyerupai zeolit yang ada di alam (Parapaga, 2018).

Pozzolan adalah bahan yang bereaksi dengan kapur ikat bebas selama pengikatan semen, termasuk daya tahannya terhadap agresi sulfat, air kotor, dan lain -lain. Didalam bahan pozzolan terdapat sedikit atau tidak ada sama sekali sifat-sifat semennya. Bahan ini digunakan untuk penambahan atau untuk pengganti semen sampai dengan 70% dari semen. Bahan ini mereduksi kecepatan pengerasan beton dan ini adalah salah satu keberatan dari penggunaannya. Bukti-bukti yang ada menunjukkan bahwa kekuatan batas dengan mengganti sekurang- kurangnya 20% dari semen dengan pozzolan hampir tidak ada beda dengan bilamana semen saja yang digunakan. Komposisi kimia zeolit yang berupa elements dan juga persentasinya dapat dilihat pada Tabel 2.4 (L.J. Murdock, K.M. Brook, 1979).

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Zeolit

Elements	Percentage (%)
SiO ₂ (Silicon Oxide)	71,10
Al ₂ O ₃ (Aluminium Oxide)	13,12
Fe ₂ O ₃ (Iron III Oxide)	0,91
TiO (Titanium Oxide)	0,01
CaO (Calcium Oxide)	1,54

MgO (Magnesium Oxide)	0,99
K ₂ O (Potassium Oxide)	2,40
Na ₂ O (Sodium Oxide)	0,90
Ph	7,8
Loss Of Ignition	8,72
Cation Capacity Exchange (CEC)	Meq/100g

(Sumber: Zain dkk, 2018)

Pertukaran kation pada partikel-partikel lempung membuat ukuran partikel menjadi bertambah besardan mengurangi indeks plastisitas tanah yang kemudian diikuti oleh penurunan potensi pengembangan tanah: peningkatan derajat keasaman (pH) tanah yang berakibat pada peningkatan kapasitas pertukaran ion-ion positif (kation), bercampurnya silica (SiO₂), dan alumina (Al₂O₃) dari zeolit dengan air membentuk pasta yang mengikat partikel lempung dan menutupi pori- pori tanah, meningkatnya kepadatan maksimum tanah akibat reaksi pozzolanik yang semakin meningkat karena unsur-unsur SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ yang terdapat oleh zeolit, proses pozzolan ini terjadi antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat (SiO₂) dan aluminat (Al₂O₃) dari zeolit membentuk material pengikat yang terdiri dari kalsium silikat atau alumina silikat, reaksi Ca₂ + dengan silikat (SiO₂), dan aluminat (Al₂O₃) dari permukaan partikel lempung membentuk pasta sehingga mengikat partikel-partikel tanah. Tabel 2.5 menunjukkan kandungan kimia pozzolan(Tangkeallo dkk, 2019).

Tabel 2.5 Kandungan Kimia Pozzolan

Kandungan Kimia	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min %)	70.0	70.0	50.0
Sulfur Trioksida, SO ₃ (max, %)	4.0	5.0	5.0
Kandungan Alkali Na ₂ O (max, %)	1.5	1.5	1.5
Kadar Kelembaban (max, %)	3.0	3.0	3.0
Hilang Karena Pembakaran (max, %)	10	60	60

(Sumber: ASTM C618-2a)

2.5 Sifat-Sifat Fisik Tanah

2.5.1 Berat Jenis (Specity Gravity)

Berat spesifik atau Specific Gravity (Gs) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran tanah (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dengan volume yang sama pada suhu tertentu.

Sedangkan defenisi lain dari berat jenis adalah angka perbandingan antara berat isi butiran dari sampel tanha dan berat air suling pada temperature dan volume yang sama (SNI 1964, 2008).

$$GS = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad 2.3$$

Dimana γ_s = Berat *volume* tanah (gr/cm^3)

Dimana γ_w = Berat *volume* air (gr/cm^3)

Dimana Gs = Berat spesifik tanah

Nilai-nilai specifis gravity untuk berbagai jenis terdapat pada Tabel 2.6 berikut ini.

Tabel 2.6 Berar jenis Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis (GS)
Kerikil	2,65-2.68
Pasir	2,65,2-68
Lanau Organik	2,62-2,68
Lempung Organik	2,58-2,65
Lempung Anorganik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,28

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.5.2 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah mengayak dan menggentarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan (Das, 1995)

Penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas-batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan (Kusuma, 2016). Nomor dan Diameter saringan dapat dilihat pada Tabel 2.7 dibawah.

Tabel 2.7 Ukuran Diameter Saringan

No	Nomor Ayakan	Diameter lubang Ayakan (mm)
1	4	4,75
2	6	3,36
3	8	2,36
4	10	2,00
5	20	0,85
6	30	0,60
7	40	0,425
8	50	0,30
9	60	0,25
10	80	0,18
11	100	0,15
12	120	0,106
13	170	0,088
14	200	0,075

(Sumber: Das, 1995)

2.5.3 Analisa Hidrometer

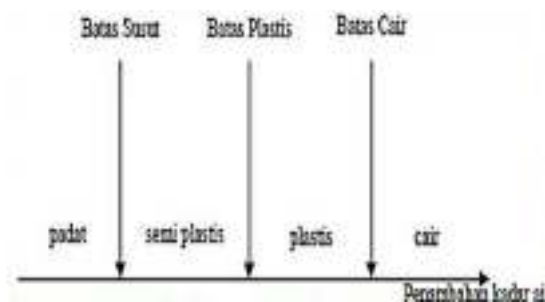
Analisa Hidrometer adalah proses Analisa butiran tanah dengan prinsip pengendapan (sedimentasi) dari butiran-butiran tanah dalam air (Das, 1995). Analisa hydrometer yaitu metode yang digunakan untuk menghitung distribusi butir ukuran tanah berdasarkan sedimentasi tanah dalam air. Analisa hydrometer berfungsi mengetahui pembagian ukuran butir tanah yang berbutir halus (Meldi, 2021).

Pengujian ini Analisa Hidrometer menggunakan senyawa kimia yaitu senyawa Na_2SO_4 yang mana senyawa ini berguna untuk mencegah suspensi butiran-butiran tanah dalam air.

2.5.4 Batas Konsistensi (*Atterbeg Limit*)

Atterbeg adalah seorang peneliti tanah berkebangsaan Sweda yang telah menemukan batas-batas *atterbeg* pada tahun 1911. Atterbeg pada 1911 memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Batas-batas atterbeg tanah

(Sumber: Das, 1995)

2.5.4.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah Ketika berada diantara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu pada batas dari daerah plastis. Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*), dan dinyatakan dalam persamaan:

$$If = \frac{w_1 - w_2}{N_1 - N_2} \cdot \log \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^{-\beta} \quad 2.4$$

dimana :

IF = indeks aliran

w1 = air (%) pada N1 pukulan

w2 = kadar air (%) pada N2 pukulan

Perhatikan bahwa nilai w_1 dan w_2 dapat ditukarkan untuk memperoleh nilai positifnya, walaupun kemiringan kurva sebenarnya negatif.

Dari banyak uji batas-cair, Waterways Experiment Station di Vicksburg, Mississippi (1949), mengusulkan persamaan batas cair:

$$LL = WN^N \left(\frac{1}{25} \right)^{\text{tg } \beta} \quad 2.5$$

dimana:

N = jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm)

wN = kadar air

$\text{tg } \beta = 0,121$ (tapi $\text{tg } \beta$ tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

2.5.4.2 Batas Plastis (Plastic Limit)

Batas plastis adalah batas terendah dari kondisi kadar air saat tanah masih dalam kondisi plastis. Sedangkan dalam pengertian lain batas plastis (*plastic limit*) diartikan sebagai kadar air tanah berada pada kedudukan diantara area plastis dan semi padat (Hardiyatmo, 2002).

2.5.4.3 Indeks Plastisitas (Plasticity Indeks)

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis, *indeks plastisitas* menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai nilai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika tanah mempunyai nilai PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering.

Batasan mengenai *indeks plastisitas* (PI), sifat dan jenis tanah terdapat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Nilai Indeks Plastisitas (PI)

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesif
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
<7	Plastis Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastis Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastis Tinggi	lempung	Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.5.5 Kadar Air

Nilai kadar air sangat berguna bagi praktisi dalam menentukan keputusan terhadap situasi yang ada. Nilai kadar air menjadi patokan dalam menentukan kekuatan dan perilaku tanah terutama tanah berbutir halus (Hakam, 2010). Untuk menentukan kadar air, terdapat berbagai metode yang dapat dipergunakan salah satunya Over Drying Method. Metode ini adalah metode yang dapat dilaksanakan dilaboratorium yang paling akurat.

Kadar air (w) adalah perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan berat kering tanah yang dinyatakan dalam bentuk persen. Kadar air (w) dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$W = \frac{w_1 - w}{w - w_1} \times 100\% \quad 2.6$$

Keterangan:

w = Kadar air yang dinyatakan dalam persen

w_1 = Berat cawan kosong

w_2 = Berat cawan + berat tanah basah

w = Berat cawan + berat tanah kering

2.6 Sifat-Sifat Mekanis Tanah

2.6.1 Pemadatan Tanah (Compaction)

Pemadatan tanah (compaction) adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan cara mekanis (digilas/ditimbuk) sehingga partikel-partikel tanah menjadi rapat. Dengan kata lain, pemadatan adalah densifikasi tanah yang jenuh dengan penurunan volume rongga diisi dengan udara, sedangkan volume pemadatan dan kadar air tetap pada dasarnya sama.

Pemadatan tanah menurut Hardiyatmo (2002):

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat (Gambar 2.3). Harap dicatat bahwa pada saat kadar air $w = 0$, berat volume basah dari tanah (γ) adalah sama dengan berat volume keringnya (γ_d), atau

$$\gamma = \gamma_d(w = 0) = \gamma_1 \quad 2.7$$

Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Misalnya, pada $w = w_1$, berat volume basah dari tanah sama dengan:

$$\gamma = \gamma_2 \quad 2.8$$

Berat volume kering dari tanah tersebut pada kadar air ini dapat dinyatakan dalam:

$$\gamma_d(w - w_1) = \gamma_d(w = 0) + \Delta \gamma_d \quad 2.9$$

Pada umumnya pemadatan tanah dilakukan di laboratorium terdiri dari 2 macam, yaitu *Standard Proctor* AASHTO T 99 (ASTM D 689) dan *Modified Proctor* AASHTO T 180 (ASTM D 1557). Kedua cara pemadatan tersebut yaitu:

- 1) *Standard Proctor* menggunakan alat penumbuk 2,5 kg (5,5 lb), tinggi jatuh 30,5 cm dan jumlah lapisan 3 lapis dengan energi pemadatan sebesar 595 kJ/m³.
- 2) *Modified Proctor*, dengan alat penumbuk 5,5 kg (10 lb), tinggi jatuh 45,7 cm dan jumlah lapisan 5 lapis dengan energi pemadatan sebesar 2698 kJ/m³.

Spesifikasi Proctor yaitu Standar dan Modifikasi terdapat pada Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9 Spesifikasi Proctor

	Standar (ASTM D698)	Modifikasi (ASTM D1557)
Palu	24,5 N (5,5 lb)	44,5 N (10lb)
Tinggi Jatuh Palu	300 mm (12 in)	457 mm (18 in)
Jumlah Lapisan	3	5
Jumlah Tumbukan Perlapisan	25	25
Volume Cetakan	1/30 ft ³	1/30 ft ³
Tanah	Saringan no.4	Saringan no.4
Energi Pemadatan	595 kJ/m ³ (12400 lb.ft/ft ³)	2698 kJ/m ³ (56250 lb.ft/ft ³)

(Sumber: Bowles, 1995)

Pemadatan yang dilakukan pada penelitian tersebut menggunakan *Standard Proctor*. Pada penelitian ini digunakan *standard proctor* untuk mendapatkan kadar air dan kepadatan kering optimum yang akan digunakan dalam pengujian UCT. Pengujian pemadatan menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Proctor telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad 2.10$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor. Pada uji Proctor, tanah dipadatkan dalam sebuah alat pemadat berupa silinder mould yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (*w_{opt}*) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum.

Pada nilai kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada pada kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi, dalam praktik, kondisi ini sulit dicapai. Kemungkinan berat volume kering maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering dengan tanpa rongga udara atau berat volume kering saat tanah menjadi jenuh (γ_{zav}), dapat dihitung dari persamaan:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s} \quad 2.11$$

dimana,

γ_{zav} = berat volume pada kondisi zero air void

γ_w = berat volume air

e = angka pori

G_s = berat spesifik butiran pada tanah

Berat volume kering (γ_d) setelah pemadatan pada kadar air w dengan kadar udara (air content), A ($A = V_a/V = \text{volume udara/volume total}$) dapat dihitung dengan persamaan:

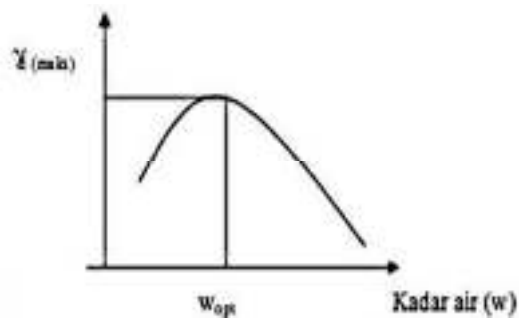
$$\gamma_d = \frac{G_s(1-A)\gamma_w}{1 + w G_s} \quad 2.12$$

Spesifikasi yang diberikan untuk uji Proctor menurut ASTM dan AASHTO dengan volume cetakan sebesar 1/30 ft³ dan jumlah tumbukan 25 kali per lapisan pada umumnya dipakai untuk tanah-tanah berbutir halus yang lolos ayakan Amerika no. 4. Sebenarnya, pada masing-masing ukuran cetakan masih ada empat metode lain yang disarankan, yang berbeda-beda menurut ukurancetakan,

jumlah tumbukan per lapisan, dan ukuran partikel tanah maksimum pada agregat tanah yang dipadatkan.

lempung dipadatkan, air sulit mengalir ke luar dari rongga pori lempung. Air yang tidak mau ke luar dari rongga pori tanah ini menyebabkan butiran sulit merapat suatu sama lain saat dipadatkan.

Kadar air yang memberikan berat isi kering yang maksimum disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*). Usaha pemadatan diukur dari segi energi tiap satuan volume dari tanah yang telah dipadatkan. yang menunjukkan suatu kadar air optimum yang lebih tinggi. Hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah ditunjukkan pada kurva Gambar 2.8 berikut.

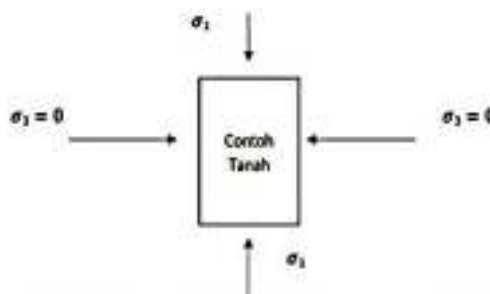


Gambar 2.8 Hubungan antara kadar air air dan berat isi kering tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.6.2 Unconfined Compression Test (UCT)

Uji kuat tekan mengukur kemampuan tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah terpisah dari butir-butirnya, pengujian ini juga mengukur regangan tanah akibat tanah tersebut. Pada Gambar 2.9 menunjukkan skema pengujian *Unconfined Compression Test (UCT)*.



Gambar 2.9 Skema Pengujian kuat tekan bebas

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Tegangan aksial yang diterapkan diatas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhan, karena $\sigma_3 = 0$, maka:

$$tf = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{qu}{2} \quad 2.13$$

Dimana:

rf = Kuat Geser (Kg/cm^2)

σ_1 = Tegangan Utama (Kg/cm^2)

qu = Kuat Tekan Bebas Tanah (Kg/cm^2)

cu = Kohesi (Kg/cm^2)

Syarat-syarat yang perlu diperhatikan pada pengujian kuat tekan bebas:

1. Penekanan kecepatan regangan berkisar antara 0,5-2% per menit
2. Kreteria keruntuhan suatu tanah :
 - a. Bacaan proving ring turun tiga kali berturut-turut
 - b. Bacaan proving ring tiga kali berturut-turut hasilnya sama.

Berikut hubungan konsistensi tanah lempung dan kuat tekan bebas pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Hubungan kuat tekan bebas tanah lempung dengan konsistensinya

Konsistensi	q_u (kg/cm^2)
Lempung Keras	>4,00
Lempung Sangat Kaku	2,00-4,00
Lempung Kaku	r1,00-2,00
Lempung Sedang	0,50-1,00
Lempung Lunak	0,25-0,50
Lempung Sangat Lunak	<0,25

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Nilai kuat tekan bebas didapatkan dari hasil tegangan tertinggi pada setiap sampel. Nilai kekuatan geser dirumuskan oleh Mohr-Coulomb (1776) dengan persamaan sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

2.14

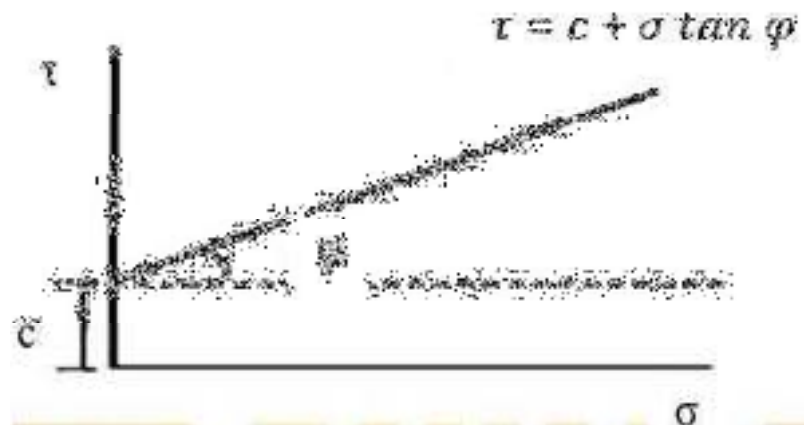
Dimana :

τ = Kekuatan geser tanah (kN/m^2)

σ = Tegangan Normal Efektif (kN/m^2)

φ = Sudut gesek dalam efektif

c = Kohesi (kN/m^2)

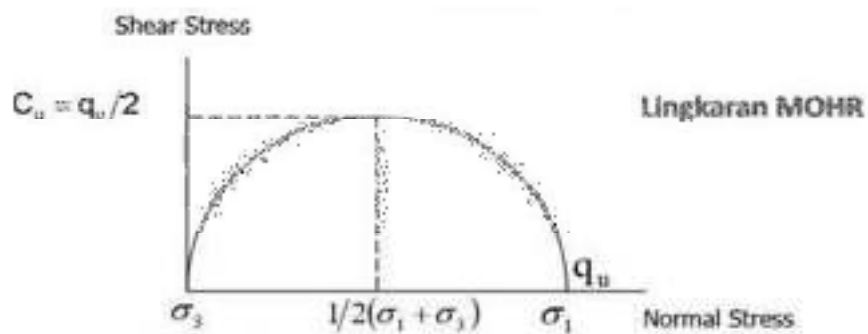


Gambar 2.10 Kekuatan Geser Tanah

(Sumber: Bowles, 1991)

Gambar 2.10 menunjukkan kekuatan geser tanah, nilai kuat geser tanah sama dengan nilai dari kohesi tanah tersebut karena pada kondisi tanah yang jenuh air, nilai sudut gesek internal tanah (φ) dapat mencapai nol.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Berdasarkan gambar 2.11 terdapat lingkaran mohr.



Gambar 2.11 Lingkaran Mohr

(Sumber: Bowles, 1991)

Dalam uji kuat tekan tanah nilai $\sigma_3 = 0$. Gaya aksial diberikan secara cepat di atas benda uji hingga runtuh.

Kuat geser tanah juga bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan-tegangan σ_1 dan σ_3 yaitu pada saat keruntuhan terjadi. Pada pengujian kuat tekan bebas tidak ada tegangan sel yaitu $\sigma_3 = 0$

Kuat tekan bebas merupakan pengujian yang umum dilaksanakan dan dipakai dalam proses penyelidikan sifat-sifat stabilisasi tanah. Di samping pelaksanaannya yang praktis, sampel yang dibutuhkan juga tidak banyak. Dalam pembuatan benda uji sebagai dasar adalah kepadatan maksimum yang diperoleh dari percobaan pemadatan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

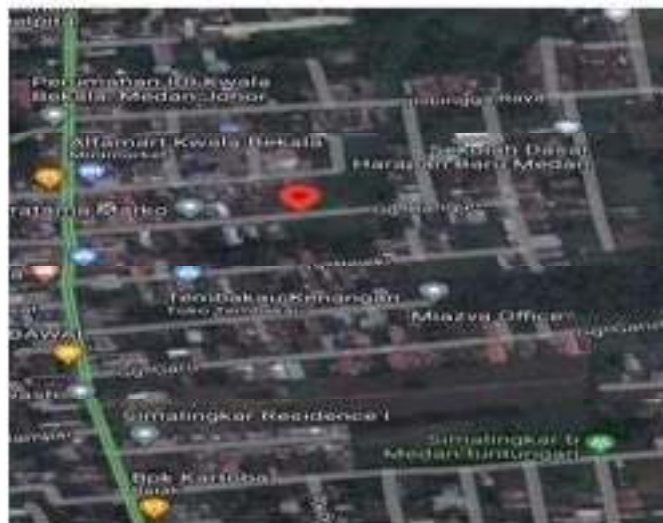
Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Santo Thomas Medan.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth Pro)

Sedangkan untuk lokasi pengambilan sampel tanah yaitu di Desa Gundaling I Kecamatan Berastagi Kabupaten Karo. Sampel tanah yang diambil adalah sampel tanah kondisi terganggu (*disturbed*), dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan sampel tanah lempung

(Sumber: Google Earth Pro)

3.2 Metodologi penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Semua prosedur pelaksanaan baik dalam melakukan pengujian contoh tanah yaitu mengikuti prosedur test yang dikeluarkan oleh AASHTO dan SNI. Pada pengujian ini terdapat beberapa pengujian yaitu untuk mengetahui sifat fisik tanah dan mengetahui sifat mekanis tanah. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisik tanah adalah pengujian kadar air, berat jenis, Analisa butiran, dan atterbeg limit. Sedangkan, untuk mengetahui sifat mekanis tanah dilakukan pengujian pemadatan tanah di laboratorium, dan kuat tekan bebas tanah. Pengujian utama dalam penelitian ini adalah kuat tekan bebas pada tanah asli dicampur dengan variasi campuran zeolit..

3.3 Bahan Penelitian

3.3.1 Tanah Lempung

Sampel tanah yang diambil mrmiliki kondisi tanah yang diambil adalah kondisi terganggu (*disturbed*), pengambilan dengan cara dicangkul kemudian dimasukkan ke dalam karung goni. Tanah yang diambil kemudian dikeringkan hingga kering udara (SSD) dan ditumbuk dengan menggunakan palu karet agar butirannya lepas.



Gambar 3.3 Tanah Lempung

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.3.2 Zeolit

Pasir zeolite yang akan digunakan sebagai bahan campuran adalah zeolite berbutir halus dengan variasi presentase yaitu 15%, 20%, 25%, 30%.



Gambar 3.4 Pasir Zeolit
(Sumber; Dokumentasi Pribadi)

3.4 Prosedur Pengujian

3.4.1 Pengujian Kadar Air

Pengujian ini presentase berat air suatu tanah terhadap berat tanah keringnya dinyatakan dalam persen.

Alat yang digunakan:

1. Cawan.
2. Neraca dan anak timbangan
3. Oven dengan suhu $105^0 - 110^0$ C

Proses pelaksanaan pengujian kadar air adalah sebagai berikut.

1. Cawan alumunium kosong ditimbang beratnya
2. Ambil sampel secukupnya, letakkan dalam cawan kemudian ditimbang beratnya. Berat cawan + sampel tanah basah = b gram.
3. Masukkan kedalam oven selama 24 jam
4. Dimasukkan ke dalam exicator
5. Setelah suhudingin atau konstan kemudian sampel ditimbang, misal = c gram.

3.4.2 Pemeriksaan Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Tujuan pemeriksaan berat jenis adalah untuk mendapatkan berat jenis butiran tanah (Gs).

Alat yang dipergunakan:

1. Piknometer
2. Neraca dan anak timbangan
3. Thermometer
4. Oven
5. Air

Proses pelaksanaan pengujian berat jenis tanah adalah sebagai berikut.

1. Mencari harga pikno:
 - a) Pikno kosong ditimbang, misalkan = a gram.
 - b) Pikno diisi air hingga penuh kemudian ditimbang lagi, misalkan = b gram.
 - c) Piknometer diukur suhunya dengan thermometer, misalkan: T_1 °C.
Harga air piknometer = $(b - a) t_1$; dimana t_1 = koreksi T_1
2. Mencari specific gravity (Gs):
 - a) Sampel kering secukupnya diambil, kemudian dimasukkan kedalam pikno diatas yang telah bersih dan kering lalu ditimbang, misalkan = c gram (berat sampel = 20-25 gram).
 - b) Picnometer dan sample tersebut diisi aquades hingga dibawah leher picnometer kemudian diketuk-ketuk hingga gelembung udara tidak ada, lalu diamkan selama 24 jam.
 - c) Setelah 24 jam, picnometer tersebut ditambahkan aquades lagi hingga penuh dan ditimbang lagi, misalkan = d gram.
 - d) Selanjutnya diukur temperaturnya dengan termometer, misalkan = T_2 °C. Koreksi temperaturnya bisa dilihat dalam tabel, misalkan = t_2 . Maka *specific gravity* (Gs).

3.4.3 Pemeriksaan Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)

Alat yang dipergunakan pada praktikum ini:

- a. Saringan (Ø 4,76 mm - Ø 0,074 mm)

- b. Penggetar
- c. Neraca analitis dan anak timbangannya
- d. Cawan
- e. Oven

Proses pelaksanaan pengujian grain size adalah sebagai berikut.

- a. Ambil sampel kering secukupnya lalu ditimbang, misalkan = a gram
- b. Sampel diletakkan pada cawan besar, diisi air lalu diredam selama 24 jam.
- c. Selanjutnya cuci dalam saringan diameter 0.074 mm (no. 200) dan lumpurnya ditempatkan pada wadah yang terpisah.
- d. Sampel yang sudah bersih tadi dioven kemudian ditimbang, misalkan = b gram.
- e. Siapkan beberapa saringan tadi pada alat penggetar dengan diameter
- f. Sampel yang telah selesai ditimbang diletakkan pada saringan teratas kemudian digetarkan selama ±5 menit.
- g. Masing-masing sampel yang tertinggal pada saringan ditaruh dalam cawan aluminium lalu ditimbang.

Cara penggambaran dan perhitungan.

- 1) Berat sample mula-mula = a gram. Berat sampel yang telah dicuci = b gram.
- 2) Berat lumpur = berat sample yang lolos dari saringan no. 200 = a – b gram.
- 3) Total berat tanah yang tertinggal di saringan Ø 4,76 mm s.d. Ø 0,074 mm = c gram.
- 4) Kehilangan berat = (b – c) gram
- 5) Kadar lumpur = $\frac{(a - b) - \alpha}{a} \times 100 \%$
 Dengan α = berat tanah yang tertinggal dalam alas saringan.
- 6) Presentase tanah yang tertinggal dihitung.
- 7) Perhitungan persen tanah tertinggal = Jumlah – persentase tanah diatas

3.4.4 Pemeriksaan Analisa Hidrometer (*Hydrometer Analysis*)

Tujuan pengujian Analisa hydrometer adalah untuk menentukan gradasi pembagian butiran tanah yang lolos saringan No.200 dan lengkung gradasinya.

Alat yang dipergunakan pada praktikum ini:

- a. Hydrometer
- b. Gelas ukur
- c. Cawan dan penumbuk
- d. Stopwatch
- e. Oven

Proses pelaksanaan pengujian hidrometer adalah sebagai berikut.

1. Sampel tanah yang lolos 0,074 mm (no.200) dioven selama ± 24 jam kemudian ditimbang
2. Sampel direndam dalam botol selama 24 jam.
3. Selanjutnya sampel dimasukkan dalam gelas ukur dan ditambah air hingga 1000cc.
4. Gelas ukur dikocok-kocok hingga sampel dan air bercampur homogen.
5. Masukkan hidrometer ke dalam gelas, *stopwatch* dihidupkan. Pembacaan 0 detik dilakukan pada waktu hydrometer mulai stabil.
6. Pembacaan dilakukan pada detik ke 0, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, 1, 2, 5 menit dan seterusnya.

Alat hydrometer semakin lama akan turun, hal ini menunjukkan jika lumpur semakin mengendap. Pada pembacaan strip-strip hydrometer terkadang terdapat pelengkungan air pada hydrometer sehingga akan mengaburkan pembacaan. Bila hal ini terjadi, maka 15 detik sebelum pembacaan gelas ukur diketok-ketok perlahan agar pelengkungan air di sekitar hydrometer turun dan dapat dibaca. Apabila masih terjadi pelengkungan air, maka kita ambil pembacaannya pada tengah antar puncak air datar.

3.4.5 Pemeriksaan Atterberg *Limit* (Batas-batas Konsistensi)

Atterberg Limit dibedakan menjadi 3 bagian yaitu Batas Cair (Liquid limit) dan batas plastis (Plastis limit) dan juga indeks plastis.

3.4.5.1 Pemeriksaan Batas Cair (Liquid Limit)

Tujuan pengujian batas cair adalah untuk menentukan kadar air dari suatu tanah pada kondisi batas cair.

Alat-alat yang dipergunakan pada praktikum ini:

1. Cassagrande
2. Saringan no. 40 (mm)
3. Cawan
4. Mangkok/Cawan besar
5. Neraca
6. Oven

Proses pelaksanaan pengujian liquid limit ini adalah sebagai berikut.

1. Ambil sampel tanah secukupnya, lalu dioven selama ± 24 jam. Setelah itu sampel tanah ditumbuk dan diayak dengan saringan no. 40 ($\varnothing 0,425$ mm).
2. Ambil sebagian sampel, lalu dicampurkan dengan aquadest di dalam mangkok.
3. Aduk-aduk dengan colet hingga campuran rata.
4. Setelah tercampur rata masukan sampel ke cassagrande yang sudah disetel dengan tinggi jatuh ± 1 cm.
5. Sampel yang sudah diletakkan di cassagrande diratakan, lalu bagian tengahnya digaris dengan colet hingga terbelah menjadi dua bagian.
6. Engkol pemutar diputar dengan perkiraan kecepatan dua putaran tiap detik.
7. Pemutaran berhenti tanah menutup sepanjang kira-kira 2 cm

8. Percobaan dilaksanakan sebanyak 4 kali dengan kadar aquadest yang berbeda- beda dan diperkirakan sampel tanah akan menutup sepanjang 2 cm dibawah 25 kali ketukan (sebanyak 2 sampel) dan diatas 25 kali (sebanyak 2 sampel).

Pada tiap percobaan, diambil sampel tanah secukupnya untuk menentukan kadar airnya.

Cara menggambar grafik pada percobaan liquid limit adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil tadi dibuat grafik-grafik dengan sumbu absisnya adalah jumlah ketukan dan sumbu ordinatnya adalah prosentase kadar air.
2. Keempat titik percobaan dihubungkan menggunakan garis lurus yang memotong sumbu tegak pada ketukan ke-25.
3. Titik potong pukulan ke-25 dan garis lurus ditarik mendatar dan menemukan prosentase kadar air.
4. Titik kadar air itu adalah batas cair tanah tersebut.

3.4.5.2. Pemeriksaan Batas Plastis (Plastic Limit)

Tujuan pengujian batas plastis adalah untuk menentukan kadar air dari suatu sampel tanah pada kondisi batas yang lolos saringan.

Alat yang dipergunakan pada praktikum ini:

1. Saringan no. 40 (mm)
2. Mangkok
3. Cawan
4. Lempeng kaca
5. Neraca analisis
6. Oven
7. Pendingin

Proses pelaksanaan pengujian batas plastis ini adalah sebagai berikut:

1. Ambil sampel tanah secukupnya, lalu dioven selama ± 24 jam. Setelah itu sampel tanah ditumbuk dan diayak dengan saringan no. 40 ($\varnothing 0,425$ mm).
2. Sampel tanah diambil sebagian dan diletakkan ke dalam mangkok dan diberi air, lalu dicampur hingga rata.
3. Setelah tercampur rata sampel tersebut dipilin di atas lempeng kaca hingga berbentuk bulatan panjang sampai akan putus dengan diameter ± 3 mm.
4. Jika batas tersebut telah dicapai, maka sampel tanah diambil dan terus ditimbang antara 5 – 10 gram untuk kadar airnya.

3.4.6 Pengujian Kadar Air

Pengujian ini presentase berat air suatu tanah terhadap berat tanah keringnya dinyatakan dalam persen.

Alat yang digunakan:

4. Cawan.
5. Neraca dan anak timbangan
6. Oven dengan suhu $105^0 - 110^0$ C

Proses pelaksanaan pengujian kadar air adalah sebagai berikut.

6. Cawan aluminium kosong ditimbang beratnya
7. Ambil sampel secukupnya, letakkan dalam cawan kemudian ditimbang beratnya. Berat cawan + sampel tanah basah = b gram.
8. Masukkan kedalam oven selama 24 jam
9. Dimasukkan ke dalam exicator
10. Setelah suhudingin atau konstan kemudian sampel ditimbang, misal = c gram.

3.4.7 Pengujian Pemadatan Standart Proctor

Tujuan pengujian pemadatan laboratorium adalah untuk menentukan kepadatan/berat isi kering maksimum ($\gamma_{d_{max}}$) dan kadar air optimum (ω_{opt}) dari sampel tanah dengan energi tertentu.

Alat yang dipergunakan pada praktikum ini:

1. Perangkat proktor
2. Jangka sorong
3. Pisau perata
4. Timbangan berat
5. Neraca analitis dan anak timbangan
6. Cawan
7. Oven
8. Gelas ukur
9. Saringan no. 4 (\emptyset 4,76 mm)

Proses pelaksanaan pengujian proktor adalah sebagai berikut.

- 1) Tanah yang akan diuji dikeringkan terlebih dahulu sebelum dilakukan uji proktor.
- 2) Alat proktor dilepas dan masing-masing ditimbang, diukur diameter, dan tingginya. Begitu juga dengan penumbuknya diukur tinggi dan beratnya.
- 3) Ambil sampel tanah kering dan diayak menggunakan saringan no. 4 (\emptyset 4,76mm), lalu membagikan tanah menjadi 5 bagian masing-masing 2 kg.
- 4) Ambil sampel sebagian, lalu campurkan dengan air hingga tercampur rata kemudian dibagi menjadi 5 bagian yang sama.
- 5) Tiap-tiap bagian dimasukkan ke dalam alat proktor dan ditumbuk sebanyak 25 kali. Berturut-turut pada bagian 2 dan 3.
- 6) Cincin proktor atau bagian atas dilepas perlahan dan tanah dalam tabung diratakan dengan pisau perata, lalu tanah beserta alat proktor ditimbang.
- 7) Ambil sebagian kecil tanah dalam tabung (pada bagian atas dan bawah tabung) untuk dicari kadar airnya.
- 8) Percobaan untuk sampel tanah yang berikutnya dengan cara yang sama dan dengan jumlah penambahan air yang berbeda sampai batas maksimum (akan menghasilkan berat maksimum).
- 9) Gs didapatkan dari percobaan Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*).
- 10) Menghitung kadar air (w), berat volume basah (γ_b), berat volume kering (γ_k), n , e , dan ZAV.

11) Grafik digambar dengan absis kadar air (w) dan ordinatnya (γ_b , γ_k , ZAV).

3.4.8 Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Strength Test)

Tujuan pemeriksaan kuat tekan bebas:

- Untuk menentukan kekuatan tekan bebas (tanpa ada tekanan horizontal), q_u dalam keadaan asli maupun buatan (*remoulded*).
- Menentukan derajat kepekaan tanah atau spesifikasi tanah.

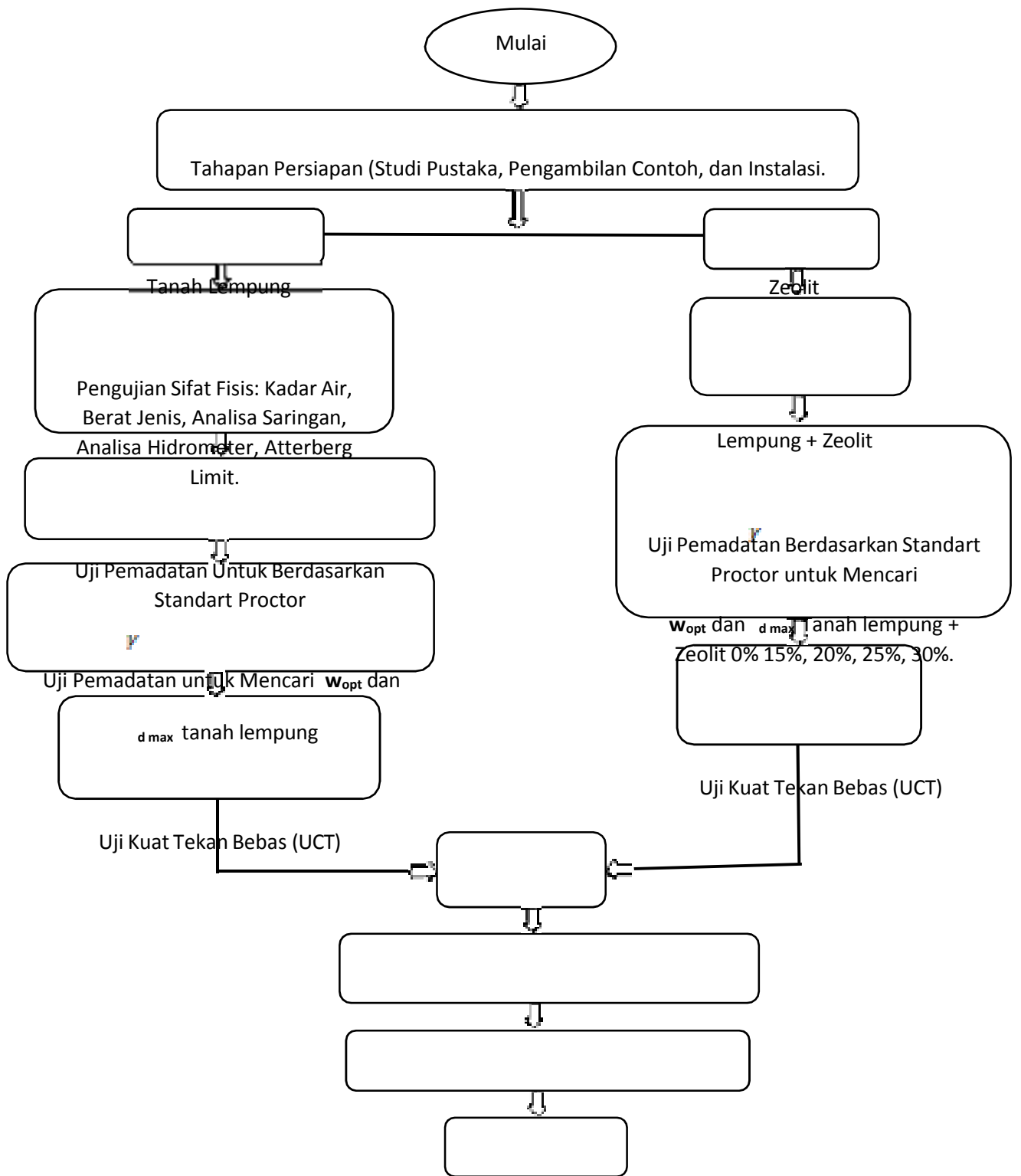
Prosedur percobaan

Sampel tanah diambil dari pengujian Pemadatan CBR Laboratorium yang telah dipadatkan kemudian dicetak dengan menggunakan alat pencetak sampel dan dikeluarkan dengan menggunakan piston, dicetak sebanyak 1 buah per masing-masing variasi campuran.

1. Contoh tanah yang telah dicetak sebelumnya diletakkan pada pesawat tekan bebas (*Unconfined Compressive Machine*).
2. Atur dial beban dan dial regangan dalam menunjukkan angka nol.
3. Lakukan percobaan arloji dengan kelipatan 0,70 mm lalu baca angka pada dial beban.
4. Percobaan ini dilakukan sampai terjadi keruntuhan pada sampel, jika pembacaan pada dial sudah membalik atau bacaan pada dial menunjukkan angka 1050, lalu dokumentasi bagian tanah yang runtuh.

3.5 Analisis Data

Berdasarkan data hasil penelitian yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium kemudian dilakukan Analisa untuk masing-masing pengujian sehingga didapatkan sifat fisik mekanik untuk tiap sampel tanah.



Data

Laporan Hasil Analisa Data

Pembahasan dan Data Kesimpulan

Selesai

Gambar 3.5 Bagan Alir Penelitian

(Sumber: Penulis)