

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Tanah

Dalam pandangan teknik sipil tanah merupakan himpunan material, bahan *organic*, dan endapan-endapan relative lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah diakibatkan oleh karbonat, zat *organic*, atau oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara maupun keduanya (Fauizek,dkk, 2018).

“Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati” (Fauizek,dkk, 2018).

Jadi dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa tanah adalah bahan pada (mineral atau organik) yang terletak di permukaan bumi atau diatas batuan dasar (*bedrock*).

2.2 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah dengan kandungan air yang tinggi, yang mengakibatkan tanah lempung mempunyai tingkat kepadatan dan daya dukung tanah rendah. Lempung mengandung leburan silika dan/atau aluminium yang halus dan unsur-unsur inilah yang paling banyak menyusun kerak bumi.

Menurut Bowles (1991) dalam Septiyani (2019) mendefinisikan tanah lempung sebagai tanah mikronis hingga sub mikronis yang dihasilkan dari pelapukan unsur-unsur kimia pembentuk batuan. Tanah lempung mempunyai permeabilitas tanah yang rendah. Pada kondisi kering tanah lempung sangat keras, tetapi pada kondisi basah tanah lempung menjadi lengket dan sangat lembek.

Namun menurut Chen (1975) dalam Aziz & Safitri (2015), bahwa suatu mineral lempung tidak dapat dibedakan melalui ukuran partikel saja, meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil namun tidak bias disebut tanah lempung karena umumnya partikel-partikel tersebut tidak dapat menyebabkan

terjadinya sifat plastis dari tanah. Perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh kelompok mineral yang mendominasi tanah tersebut.

2.2.1 Sifat Tanah Lempung

Tanah lempung mempunyai sifat-sifat khusus yaitu diantaranya:

a. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung didefinisikan sebagai rasio antara plastisitas (PI) dan persentase partikel halus ($<0,002$ mm), dilambangkan dengan simbol C. Aktivitas ini diklasifikasikan kedalam tiga kategori:

1. Aktif ($A > 1,25$): Tanah memiliki sifat ekspansif yang tinggi.
2. Normal ($0,75 \leq A \leq 1,25$): Tanah memiliki sifat stabil.
3. Tidak Aktif ($A < 0,75$): Tanah memiliki sifat tidak ekspansif.

Klasifikasi ini membantu memprediksi perilaku tanah terhadap perubahan kondisi lingkungan.

b. Hidrasi

Partikel mineral lempung umumnya memiliki muatan negatif, sehingga cenderung mengalami proses hidrasi dan dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air teradsorpsi yang stabil. Lapisan difusiganda ini, yang setara dengan dua molekul, memiliki kemampuan unik untuk menarik dan mengikat molekul air serta kation di sekitarnya. Namun, lapisan ini akan mengalami degradasi dan menghilang pada suhu tinggi antara $600-1000^{\circ}\text{C}$, sehingga mengurangi plastisitas alami tanah lempung. Selain itu, proses pengeringan dengan udara saja sudah cukup untuk menghilangkan sebagian besar kandungan air.

c. Fokulasi dan Dispersi

Kontaminasi mineral lempung dengan substansi amorf (tanpa bentuk tertentu) atau non-kristal ini dapat memicu peristiwa flokulasi. Proses ini terjadi karena daya tarik antara muatan negative netto mineral lempung, ion H^+ dari air, dan gaya Van Der Waals menyebabkan partikel-partikel kecil bersatu

dan membentuk struktur yang lebih besar. Akibatnya, flok-flok (gumpalan) partikel tersebut mengendap dari larutan tanah-air, membentuk sedimen yang lepas.

Flokulasi merupakan fenomena alami pada larutan tanah lempung dengan $\text{pH} > 7$. Proses ini dapat dinetralisir dengan penambahan bahan asam (sumber ion H^+), sedangkan penambahan bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Untuk mencegah flokulasi, larutan air dapat ditambahkan zat asam, seperti asam sulfat atau asam klorida, untuk menyesuaikan pH dan menghindari penggumpalan partikel.

d. Pengaruh Zat Cair

Fase air dalam struktur tanah lempung memiliki komposisi kimia yang kompleks dan tidak murni. Dalam pengujian batas Atterberg menurut standar ASTM, air suling digunakan untuk menghindari pengaruh ionik yang tidak diinginkan dan memastikan hasil yang akurat. Namun, hasilnya mungkin berbeda dari kondisi lapangan karena perbedaan komposisi air dan factor lingkungan.

Air berperan penting dalam menentukan sifat plastisitas tanah lempung. Molekul air, yang bersifat dipolar, memiliki muatan positif dan negatif pada ujungnya, memungkinkan terjadinya interaksi kimia dengan partikel lempung. Fenomena ini unik bagi molekul dipolar dan tidak terjadi pada cairan non-dipolar seperti karbon tetraklorida (CCl_4), yang tidak mempengaruhi sifat plastisitas lempung jika dicampurkan.

e. Sifat Kembang Susut (*Swelling*)

Tanah lempung mengalami perubahan volume signifikan akibat perubahan kadar air, dipengaruhi faktor-faktor berikut:

1. Tipe dan jumlah mineral.
2. Kadar air.
3. Struktur tanah.

4. Konsentrasi garam dalam air pori.
5. Sementasi dan kandungan bahan organik.

Menurut Fauizek, dkk (2018), tanah lempung memiliki karakteristik:

1. Ukuran butir sangat halus ($<0,002$ mm).
2. Permeabilitas rendah.
3. Kenaikan air kapiler tinggi.
4. Sifat kohesif yang kuat.
5. Kadar kembang susut tinggi.
6. Proses konsolidasi lambat.

Berdasarkan tempat pengendapan dan asalnya, lempung dibagi dalam beberapa jenis:

1) Lempung *Residual*

Lempung Residual merupakan jenis lempung yang terbentuk secara in-situ, yaitu di tempat asalnya tanpa mengalami perpindahan atau transportasi. Karakteristiknya meliputi ukuran butir kasar, kandungan batuan induk yang belum mengalami pelapukan dan sifat tidak plastis. Semakin dalam penggalian, semakin banyak ditemukan batuan asal yang kasar dan belum lapuk.

2) Lempung *Illuvial*

Lempung Illuvial adalah produk sedimentasi yang terbentuk melalui proses transportasi dan pengendapan lempung residual di lokasi yang lebih rendah, seperti kaki bukit. Sifat fisik dan kimianya mirip dengan lempung residual, tetapi tidak memiliki hubungan langsung dengan batuan induk. Penggunaan lempung illuvial umumnya ditemukan dalam industri keramik, terutama pembuatan batu bata merah dan genteng di Indonesia.

3) Lempung *Alluvial*

Lempung Alluvial adalah produk sedimentasi fluvial yang terbentuk ketika air sungai mengangkut dan mengendapkan partikel-partikel lempung

halus di sepanjang atau sekitar sungai. Proses ini menyebabkan pemisahan ukuran partikel, dengan pasir mengendap di dekat sungai dan lempung mengendap di lokasi yang lebih jauh.

4) Lempung Rawa

Lempung gambut adalah produk sedimentasi yang terbentuk di lingkungan rawa-rawa, dicirikan oleh warna hitam, tekstur halus, dan kandungan organik tinggi. Lempung ini sering mengandung garam jika terletak didekat laut, sehingga mempengaruhi sifat kimia dan fisiknya.

Tanah Lempung terdiri dari beberapa komponen kimia utama:

1. Silika (SiO_2): Dalam bentuk kuarsa, mempengaruhi tekstur dan plastisitas tanah liat. Kadar air tinggi menyebabkan tanah liat menjadi pasiran dan mudah slaking.
2. Alumina (Al_2O_3): Terdapat dalam mineral lempung, feldspar, dan mika, mempengaruhi sifat plastis dan kekuatan tanah liat.
3. Besi Oksida (Fe_2O_3): Kandungan besi mempengaruhi suhu leleh tanah liat. Mineral besi berukuran besar dapat menyebabkan cacat pada produk.
4. Kalsium Oksida (CaO): Terdapat dalam batu gamping, berfungsi sebagai pelebur pada suhu pembakaran tinggi.
5. Magnesium Oksida (MgO): Terdapat dalam dolomit, magnesit, atau silikat, meningkatkan kepadatan produk.
6. Alkali (K_2O dan Na_2O): Menghasilkan garam larut, menyebabkan aglomerasi klorida, dan berfungsi sebagai pelebur.
7. Bahan Organik: Humus, bitumen, dan karbon bertindak sebagai protektor koloid, meningkatkan keplastisan tanah liat.

2.2.2 Karakteristik Tanah Lempung

Tanah liat (lempung) memiliki karakteristik khusus yang menunjukkan perbedaan signifikan dengan jenis tanah lain. Karakteristik tanah lempung adalah sebagai berikut:

1. Memiliki sifat liat atau lengket

Tanah lempung memiliki sifat plastisitas tinggi, ditandai dengan perubahan tekstur dari keras menjadi lengket saat terkena air, sehingga memudahkan pembentukan.

2. Memiliki sifat yang sulit menyerap air

Tanah liat/lempung memiliki sifat hidrofobik, membuatnya sulit menyerap air. Karakteristik ini, ditambah dengan perubahan tekstur drastic antara keadaan basah dan kering, menjadikannya kurang cocok untuk kegiatan pertanian.

3. Tanahnya memiliki warna hitam terang atau hitam keabu-abuan

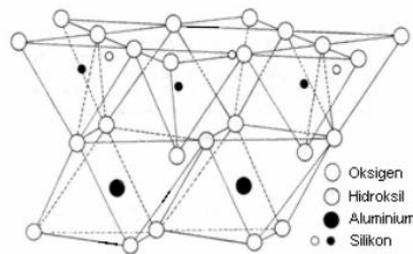
Tanah lempung memiliki warna abu-abu, tidak terlalu gelap atau terang yang merupakan karakteristik visual utamanya.

2.2.3 Struktur Mineral Penyusun Lempung

Menurut Chen (1975) dalam Aziz & Safitri (2020) mineral lempung memiliki 3 komponen utama yaitu *kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite*.

1. *Kaolinite*

Kaolinite umumnya tidak ekspansif karena adanya ikatan hydrogen pada kondisi tertentu, partikel *kaolinite* terbentuk oleh lebih dari seratus tumpukan yang sulit dipisahkan, sehingga mineral stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengannya (tidak terjadi pengembangan dan penyusutan pada sel satuannya). Gambar susunan atom *kaolinite* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 3 Struktur Atom dari Kaolinite

Sumber: Mineral oleh Bowles (1991)

Rumus kimianya yaitu:

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1:2:2$, atau $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ perunit sel.

2. *Montmorillonite*

Montmorillonite adalah mineral tanah liat ekspansif yang dikarakteristikkan oleh ikatan Van Der Waals antar lapisan yang lemah, berbeda dengan ikatan arah atau ikatan ionik. Struktur kristalnya mirip dengan *illite*, terdiri dari dua lembaran silika dan satu lembaran aluminium atau *gibbsite* (Gambar 2.2). Pada *montmorillonite*, substitusi isomorfister jadi antara atom magnesium dan besi yang menggantikan sebagian ion kalium, mirip dengan *illite*. Hal ini menyebabkan molekul-molekul tertarik pada ruang antar lapisan. Kristalnya kecil namun memiliki gaya tarik tinggi terhadap air, sehingga tanah yang mengandungnya mudah mengembang dengan penambahan kadar air.

Rumus kimia *montmorillonite* sebagai yaitu:

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + x \text{H}_2\text{O}$

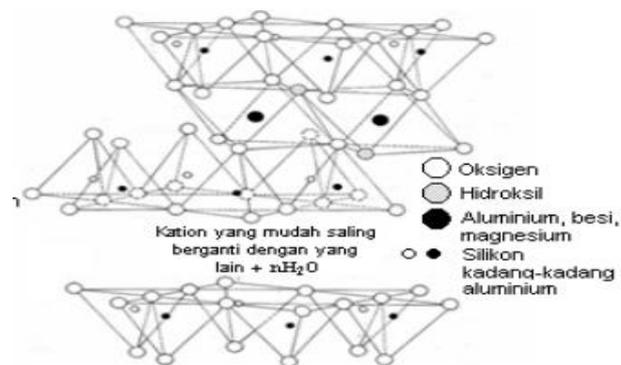
Jadi diketahui bahwa besarnya *swelling* tanah lempung dipengaruhi oleh komposisi mineralogi dan kimia tanah. Tanah dengan kandungan *montmorillonite* tinggi menunjukkan pengembangan lebih besar dibandingkan dengan tanah *kaolinit*. *Kation-kation* dengan valensi tinggi

berperan mengurangi pengembangan. Oleh karena itu, penambahan *kation* seperti Na^+ , K^+ , Ca^+ , dan Mg^{++} dapat mengurangi kembang susut tanah.

Tanah lempung *ekspansif* merupakan jenis tanah yang diklasifikasikan sebagai tanah kurang baik karena memiliki sifat pengembangan dan penyusutan yang sangat signifikan, di mana pengembangan terjadi ketika kadar air meningkat sehingga menyebabkan pembesaran volume tanah, sedangkan penyusutan terjadi ketika kadar air menurun sehingga menyebabkan pengecilan volume tanah, berdampak pada kerusakan struktur tanah dan potensi longsor.

Potensi kembang susut yang sangat tinggi pada tanah lempung ekspansif dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada struktur bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya yang berada di atasnya. Hal ini disebabkan oleh besarnya nilai aktivitas (A) tanah lempung yang dipengaruhi oleh nilai indeks plastisitas (IP) dan jenis mineral yang terkandung dalam tanah tersebut. Menurut Tabel 2.1 “Potensi Pengembangan” (Holzt, 1954; Gibbs, 1954; USBR, 1974) tanah lempung dengan indeks plastisitas (IP) lebih dari 35% dikategorikan sebagai tanah lempung ekspansif dengan potensi pengembangan sangat tinggi. Selain itu, jenis mineral lempung yang lebih plastis juga berkontribusi pada potensi penyusutan dan pengembangan tanah yang lebih tinggi (Tabel 2.1).

Tanah lempung yang memiliki kandungan lempung tinggi cenderung mengalami perubahan volume signifikan, baik pengembangan maupun penyusutan, sebagai akibat dari perubahan kadar air. Perubahan ini berpotensi membahayakan kestabilan struktur bangunan. Oleh karena itu, kadar air berperan penting sebagai penentu sifat plastisitas tanah lempung.



Gambar 2. 4 Struktur Atom dari Montmorillonite

Sumber: Mineral oleh Bowles (1991)

Tabel 2. 1 Potensi Pengembangan

Potensi pengembangan	Pengembangan(%) (akibat tekanan 6,9 KPa)	Persen koloid ($<0,001mm$) (%)	Indek plastisitas PI (%)	Batas susut SL (%)	Batas cair LL (%)
Sangat tinggi	>30	>28	>35	>11	>65
Tinggi	20-30	20-31	25-41	7-12	50-63
Sedang	10-20	13-23	15-28	10-16	39-50
Rendah	<10	<15	<18	<15	39

Sumber: USBR (1974), Holz (1954), Gibbs (1954)

3. Illite

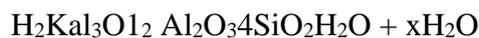
Illite memiliki formasi struktur satuan kristal yang hampir sama dengan *montmorillonite*. Satu satuan kristal *illite* memiliki tebal dan komposisi yang sama dengan *montmorillonite*. Perbedaannya yaitu:

Terdapat kurang lebih 20% pergantian silicon (Si) oleh aluminum (Al) pada lempeng tetrahedral.

Pada mineral tersebut, kalium (K) berperan sebagai penyeimbang muatan dan pengikat antar satuan kristal, sehingga mempertahankan struktur

mineral yang stabil. Berbeda dengan *montmorillonite*, struktur mineral ini tidak cenderung mengalami pengembangan.

Illite, termasuk dalam kelompok *Mica-like* bersama *vermiculites*, merupakan mineral yang dapat menunjukkan perilaku ekspansif, namun umumnya tidak menyebabkan masalah signifikan. Struktur kimianya terdiri dari lembaran *oktahedra* yang diapit dua lembaran silika tetrahedra. Substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi pada lembaran oktahedra serta substitusi silikon oleh aluminium pada lembaran tetrahedra menghasilkan muatan negatif. Muatan ini kemudian mengikat ion kalium antar lapisan, membentuk ikatan yang lebih lemah dibandingkan ikatan hidrogen pada *kaolinite*, tetapi lebih kuat daripada ikatan ionik pada *montmorillonite*. Rumus kimianya yaitu:



2.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah dalam teknik sipil merupakan suatu system pengelompokan yang sistematis berdasarkan sifat fisik dan mekanik tanah, yang mempengaruhi desain, konstruksi, dan keamanan struktur bangunan. Beberapa sistem klasifikasi yang umum digunakan adalah:

2.3.1 Klasifikasi tanah berdasarkan (*USCS*)

Klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)* adalah pengelompokan tanah berdasarkan ukuran butirannya, komposisi, gradasi, dan plastisitas. Klasifikasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan sifat fisis dan mekanis tanah.

Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das. Braja. M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi:

- a. Tanah butir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200.

Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.

- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Kemudian tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok. Digunakan simbol-simbol dalam sistem *USCS* sebagai berikut:

G = *gravel* (kerikil)

S = *sand* (pasir)

C = *anorganic clay* (lempung)

M = *anorganic silt* (lanau)

O = lanau atau lempung *organic*

Pt = *peat* (tanah gambut atau tanah *organic* tinggi)

W = *well-graded* (gradasi baik)

P = *poorly-graded* (gradasi buruk)

H = $WL > 50\%$ *high-plasticity* (plastisitas tinggi)

L = $WL < 50\%$ *low-plasticity* (plastisitas rendah)

Klasifikasi Umum		Symbol Klasifikasi	Nama Jenis	Kriteria klasifikasi			
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% tertahan pada ayakan 75 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada saringan 4.75 mm	Kerikil Bersih	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3 Tidak sesuai dengan kriteria GW Balas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4 Balas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7 $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ lebih besar dari 6 Tidak sesuai dengan kriteria GW Balas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4 Balas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7		
			GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus			
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau				
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung				
	50% atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4.75 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	Balas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4 Balas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7 Tidak sesuai dengan kriteria GW Balas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4 Balas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7		
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus			
		Pasir berbutir halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau			
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung			
		Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% lolos pada ayakan 75 μ	Lanau dan lempung LL ≤ 50	ML		Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu pedas, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram plastisitas untuk mengklarifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Balas Atterberg yang termasuk dalam daerah (4 - 7) atau CL - ML berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol
				CL		Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah	
Lanau dan lempung LL > 50	OL		Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik				
	MH		Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae) lanau elastis				
	CH		Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi				
	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi				
Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar organik tinggi lainnya	Dapat dibedakan dengan mata dan tangan, ASTM D 2488 - 00 T				

Gambar 2. 5 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Sumber: Unified Soil Classification System (USCS)

2.3.2 Klasifikasi tanah berdasarkan (AASHTO)

Sistem AASHTO mengklasifikasikan tanah menjadi delapan kategori (A-1 hingga A-8) berdasarkan kemampuan dipadatkan dan kapasitas dukung untuk pemilihan tanah subgrade jalan yang optimal.

Tabel 2.2 memperlihatkan sistem klasifikasi AASHTO yang terdiri dari tujuh kelompok utama (A-1 sampai A-7) dengan dua belas subkelompok yang spesifik, serta kelompok A-8 yang khusus untuk tanah gambut yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO (Tanah Granuler)

<u>Klasifikasi Umum</u>	<u>Tanah berbutir (35 atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)</u>							<u>Tanah lanau-lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)</u>			
<u>Klasifikasi Kelompok</u>	A-1		A3	A2				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**
<u>Analisis ayakan (% lolos)</u>											
No. 10	≤ 50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 25	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 36	≤ 36	≤ 36	≤ 36
<u>Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40</u>											
<u>Batas cair (LL)</u>	...	...	...	≤ 41	≤ 41	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≤ 41
<u>landeks plastisitas (PI)</u>	≤ 6	NP	NP	≤ 10	≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 10	≤ 10	≤ 11	≤ 11
<u>Tipe material yang paling dominan</u>	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempang				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
<u>Penelitian sebagai bahan dasar tanah</u>	Baik sekali sampai baik							Sedang sampai jelek			

Keterangan:

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

** Untuk A-7-6, $PI \geq LL - 30$

Sumber: American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)

A-1, adalah kelompok tanah yang terdiri dari campuran kerikil, pasir kasar, pasir halus yang bergradasi baik mempunyai plastisitas yang sangat kecil atau tidak sama sekali. Sub kelompok A-1-a yang dapat mengandung kerikil yang cukup banyak merupakan bahan yang bergradasi lebih besar dari pada A-1-b yang terutama terdiri dari pasir kasar. Kelompok ini mempunyai sejumlah kecil plastisitas $I_p < 6$.

A-2, adalah kelompok tanah yang terdiri dari campuran kerikil dan atau pasir dengan tanah berbutir halus di bawah 35%, merupakan batas antara tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Sub kelompok A-2-4 dan A-2-5 adalah bahan yang tidak lebih dari 35%, lebih halus dari saringan No.200, mempunyai karakteristik plastisitas dari kelompok A-6 dan A-7.

A-3, adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus yang relative seragam, dapat juga dari pasir halus bergradasi buruk dengan sebagian kecil pasir kasar dan kerikil, merupakan bahan yang tidak plastis. Bahan lanau dan lempung berada pada kelompok A-4 sampai A-7 yang merupakan kelompok tanah berbutir halus yang lebih dari 35% butirannya lolos saringan No. 200 yang sangat ditentukan oleh sifat plastisitas tanah, yang dapat diplotkan kedalam gambar 2.4.

A-4, adalah kelompok tanah lanau dengan plastisitas rendah.

A-5, adalah kelompok tanah lanau yang mengandung tanah plastis, sehingga tanahnya lebih plastis dari pada A-4.

A-6, adalah kelompok lempung yang mengandung pasir dan kerikil, yang masih mempunyai sifat perubahan volumenya besar.

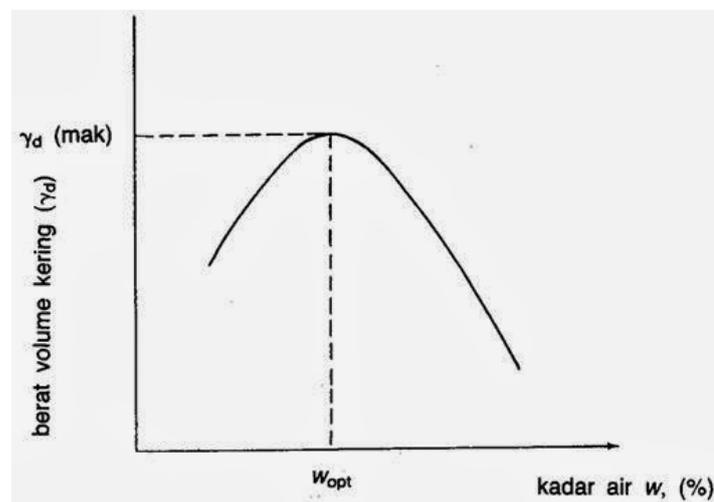
A-7, adalah kelompok lempung yang bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume yang cukup besar. Kelompok tanah A-7 dibagi atas, A-7-5 apabila $I_p < (w_L - 30)$ dan A-7-6 apabila $I_p > (w_L - 30)$.

A-8, adalah gambut (sangat organis) atau rawang (tipis, sangat berair dengan bahan organis yang cukup banyak) dan diidentifikasi lewat pemeriksaan terhadap deposit.

2.4 Pemadatan Tanah

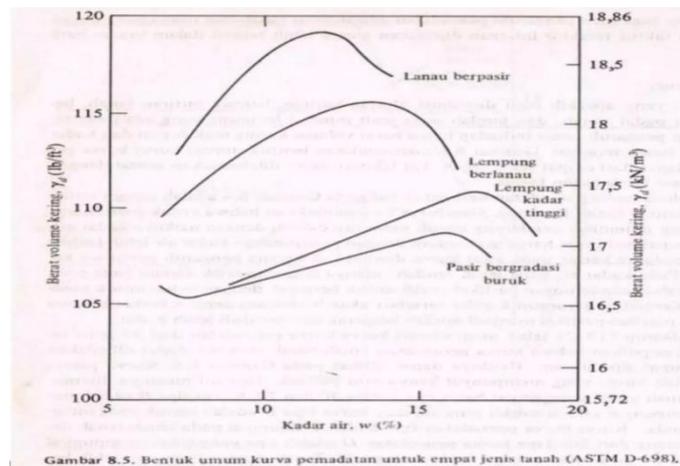
Pemadatan (*compaction*) adalah proses peningkatan kerapatan tanah dengan cara memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi pengurangan volume udara. Atau dengan kata lain pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan salah satu cara mekanis. Tujuan pemadatan yaitu untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah.

Pemadatan tanah berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan tanah dapat dilakukan di lapangan maupun di laboratorium. Di lapangan, tanah digilas dengan roller yang didalamnya terdapat alat penggetar, getaran tersebut menyebabkan tanah bergetar sehingga terjadi pemadatan. Sedangkan, di laboratorium menggunakan pengujian PTS, dengan cara palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu dan dijatuhkan ke beberapa lapisan tanah didalam mold dengan jumlah pukulan standar. Output dari pengujian ini akan didapat hubungan antara berat volume kering dan kadar air dapat dilihat pada gambar 2.4 Pengujian ini berdasarkan ASTM D698.



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air

Sumber: ASTM D698



Gambar 2.5 Bentuk Umum Grafik Pemadatan 4 Jenis Tanah (ASTMD-698)

Sumber: ASTM D698

2.5 Pengujian Triaxial UU (*Unconsolidated Undrained*)

Triaxial UU (*Unconsolidated Undrained*) adalah suatu uji dalam mengukur kuat geser tanah. Pengujian ini dimaksudkan untuk menghitung kohesi dan juga sudut geser tanah. Uji triaxial adalah salah satu metode laboratorium yang esensial dalam mekanika tanah untuk mengevaluasi sifat mekanik tanah. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan geser tanah, parameter kekuatan tanah, serta perilaku tanah di bawah kondisi tegangan tertentu.

Pengujian triaxial UU (*Unconsolidated Undrained*) memiliki tujuan utama yakni untuk menentukan kekuatan geser tanah, nilai kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) di bawah tekanan *axial*. Standar ASTM yang digunakan untuk pengujian triaxial adalah ASTM D-2850-95 digunakan untuk menentukan kuat geser siklik atau potensi likuifaksi tanah dan ASTM D3999-11 digunakan untuk menentukan modulus sekan dan sifat peredam.

Beberapa jenis pengujian triaxial yakni uji triaxial tak terkonsolidasi dan tak terdrainase (UU), uji triaxial konsolidasi tak terdrainase (CU), uji triaxial konsolidasi terkurus (CD).

Selanjutnya pembebanan menggunakan alat uji triaxial, adapun prosedurnya sebagai berikut :

1. Siapkan benda uji tanah berbentuk silinder dengan diameter antara 38-100 mm.
2. Letakan benda uji diantara dua tutup kaku dan tutup dengan membrane lateks.
3. Masukkan benda uji ke dalam sel prespex yang berisi air.
4. Berikan tekanan sel dengan air yang dialirkan melalui tabung prespex.
5. Dorong benda uji melalui ram untuk memberikan tegangan deviator tambahan.
6. Tingkatkan tegangan deviator secara perlahan hingga spesimen pecah.
7. Catat secara teratur pergerakan dan tekanan yang terjadi selama proses pembebanan.

Tabel 2. 3 Tabel Konsistensi

Nilai q_u (kg/cm ²)	Konsistensi
>4,0	Lempung keras
2,04 – 4,0	Lempung sangat kaku
1,0 – 2,0	Lempung kaku
0,5 – 1,0	Lempung sedang
0,25 – 0,5	Lempung lunak
<0,25	Lempung sangat lunak

Sumber: Uji Triaxial UU oleh Terzaghi (1979)

2.6 Pengertian Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Abu terbang (*fly ash*) mempunyai titik lebur sekitar 1300° C dan mempunyai kerapatan massa (densitas) antara 2.0 – 2.5 g/cm³. Abu terbang (*fly ash*) adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus. Abu yang tidak naik disebut *bottom ash*.

Karakteristik abu terbang (*fly ash*) ini yaitu terdiri dari bahan mineral dalam batubara yang mudah terbakar, serta sejumlah kecil karbon yang tersisa dari

pembakaran yang tidak sempurna. Berwarna coklat muda, tetapi bias juga berwarna oranye, atau putih hingga kuning. Memiliki berat jenis sekitar 2,0 tetapi bervariasi dari 1,6-3,1.

2.6.1 Kandungan Abu Terbang (*Fly Ash*)

Komposisi kimia dari abu terbang (*fly ash*) diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah apabila dilakukan proses pencampuran. Umumnya abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, silika oksida (SiO_2) yang dikandung didalam abu terbang (*fly ash*) akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat. Komposisi abu Terbang (*fly ash*) dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Abu Terbang (*Fly Ash*)

Komponen	Bituminus	Subbituminus	Lignit
SiO ₂ (%)	20 – 60	40 – 60	15 – 45
Al ₂ O ₃ (%)	5 – 35	20 – 30	20 – 25
Fe ₂ O ₃ (%)	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO (%)	1 – 12	5 – 30	15 – 40
LIO (%)	0 – 15	0 – 3	0 – 5

Sumber : Felix (1985) dalam Ahmad Bachtiar (2016)

2.7 Stabilitas

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, dengan cara memberikan perlakuan (*treatment*) khususnya terhadap lapisan tanah tersebut. (Rustam, 2019).

Dengan demikian dapat diketahui bahwa tujuan stabilisasi tanah adalah minimal untuk memenuhi satu dari empat sasaran berikut ini:

1. Untuk memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah.
2. Untuk memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah.
3. Untuk memperbaiki (menurunkan) permeabilitas dan swelling potensial tanah.
4. Untuk menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (*existing strength*).

Berdasarkan mekanisme kerja komposit antara massa tanah dengan bahan stabilizer jenis stabilisasi tanah dapat dibedakan atas:

1. Stabilisasi kimia: yaitu stabilisasi dengan menggunakan bahan-bahan kimia memungkinkan terjadinya reaksi kimia, dan menghasilkan senyawa baru yang bersifat stabil dari pada senyawa yang terdapat dalam massa tanah sebelum stabilisasi dilakukan.
2. Stabilisasi fisik: yaitu stabilisasi dengan menggunakan energi yang disalurkan ke lapisan tanah, sehingga memperbaiki karakteristik lapisan sesuai dengan tujuan dari stabilisasi yang diinginkan.
3. Stabilisasi mekanis: yaitu stabilisasi dengan menggunakan material sisipan ke lapisan tanah, sehingga mampu memperbaiki karakteristik massa tanah sesuai tujuan Tindakan stabilisasi yang diinginkan. Stabilisasi mekanis sering juga disebut “perkuatan tanah” (*reinforcement earth*).
4. Stabilisasi termal: yaitu stabilisasi dengan menggunakan panas (termal) untuk membakar material tanah, sehingga kadar air kristal massa tanah menjadi sangat rendah, yang memungkinkan ikatan senyawa dalam massa tanah lebih stabil (*irreversible*).

Tabel 2. 5 Standarisasi Stabilitas Tanah Sesuai Peraturan Pemerintah

Identifikasi Pengujian	Standarisasi Stabilitas Tanah PUPR Tahun 2021
Kadar Air (%)	10%-20%
<i>Specific gravity</i> (Gs)	2,55-2,75
Batas Cair (LL) (%)	30%-55%
<i>Indeks Plastisitas</i> (%)	15%-30%
Batas Plastis (PL) (%)	20%-45%
Derajat Kejenuhan (%)	180%-300%
Porositas (%)	45%-51%
Tanah Lolos Saringan No. 200 (%)	<35%
Berat Volume Kering (Kg/Cm ³)	1,40-1,80
Kadar Air Optimum (%)	10%-25%
Sudur geser Dalam (°)	20- 35°
Kohesi (Kg/cm ²)	2,6 – 2,8 Kg/cm ²

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat (PUPR) No. 20 Tahun 2021

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai Stabilisasi Tanah Lempung sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa orang peneliti. Pertama, Arinda Leliana, dkk (2015) Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Jurusan Teknik Sipil-FT, Universitas Negeri Surabaya. Melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Expansif di Daerah Magentan Jawa Timur”. Sampel yang digunakan dalam penelitian yaitu 5 sampel campuran tanah lempung 100% dengan penambahan *Fly Ash* kelas F 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

Hasil pengujian penambahan *fly ash* pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai Kuat Tekan Bebas (q_u). Dari hasil pengujian nilai kuat tekan pada grafik 7 untuk tanah asli didapat nilai (q_u) 2,665kg/cm². Tanah yang telah dicampur dengan *fly ash* 5% nilai (q_u) hasil uji kuat tekan naik dibandingkan tanah asli yaitu sebesar 3,099kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 16,29% per 5% (1% nya naik 3,26%). Kadar *fly ash* 10% didapat nilai (q_u) 4,041kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 46,68% per 10% (1% nya naik 4,67%). Kadar *fly ash* 15% didapat nilai (q_u) 4,442kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 56,61% per 15% (1% nya naik 3,78%). Kadar *fly ash* 20% didapat nilai (q_u) 5,009kg/cm² dengan prosentase kenaikan sebesar 69.37% per 20% (1% nya naik 3,47%).

Dengan demikian kenaikan yang paling efektif adalah dengan penambahan kadar *fly ash* 10% yang didapat nilai (q_u) 4,041 kg/cm² dengan presentase kenaikan sebesar 46,68% per 10% (1% nya naik 4,67%).

Kedua, Rama Indera K., dkk (2016) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, melakukan pengujian mengenai “Stabilisasi Tanah Dengan Menggunakan *Fly Ash* dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas”. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini ialah tanah dengan campuran *fly ash* sebanyak 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan lama waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 21 hari.

Berdasarkan hasil penelitian laboratorium disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian fisik tanah menunjukkan bahwa tanah tersebut masuk pada golongan tanah campuran lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batuan, pasir halus berlanau atau berlempung dengan sedikit plastisitas (ML).
2. Hasil pengujian UCT sebagai berikut :

Nilai q_u tertinggi didapat dari tanah dengan kadar *fly ash* sebesar 20% dengan lama pemeraman selama 21 hari yang menghasilkan nilai q_u

sebesar 2,55kg/cm², meningkat sebesar 202,38% dari nilai terendah yaitu 1,26 kg/cm².

3. Hasil pengujian sifat fisis tanah:
 - a. Penambahan *fly ash* menaikkan nilai batas plastis, semakin banyak kadar *fly ash* maka nilai batas plastis semakin besar.
 - b. Penambahan *fly ash* menaikkan nilai batas cair, semakin banyak kadar *fly ash* maka nilai batas cair semakin besar.
 - c. Penambahan *fly ash* menurunkan nilai berat jenis, semakin banyak kadar *fly ash* maka nilai berat jenis semakin kecil.

Dari kedua penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan penulis lakukan terdapat beberapa persamaan dan perbedaan sebagai berikut:

1. Persamaan Penelitian

- a. Sama-sama meneliti tentang stabilisasi tanah.
- b. Kedua penelitian tersebut sama-sama menggunakan penelitian kuantitatif deskriptif.

2. Perbedaan Penelitian

- a. Penelitian yang dilakukan oleh Arinda Leliana, dkk berfokus pada penggunaan tanah lempung ekspansif. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh , Rama Indera K. menggunakan sampel tanah yang di ambil di ruas jalan raya. Kedua penelitian tersebut menggunakan metode Kuat Tekan Bebas. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan penulis adalah dengan menggunakan tanah lempung (*disturbed*) dan menggunakan metode pengujian Triaxial UU (*Unconsolidated Undrained*).