

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang pengaruh pencampuran abu cangkang kelapa sawit terhadap nilai kuat geser yang dilakukan oleh Amin (2019). Dalam penelitiannya dilakukan pencampuran tanah asli dan abu cangkang kelapa sawit dengan variasi campuran 15%, 20%, dan 25% pada berat kering tanah kemudian sampel diuji menggunakan alat *Direct Shear* (geser langsung) untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Berdasarkan hasil uji sifat fisik tanah asli menurut sistem AASHTO dan USCS, tanah tersebut dimasukkan sebagai tanah lempung organik. Sedangkan hasil uji geser langsung untuk tanah asli diperoleh nilai sudut geser (ϕ) = 35,9045°, kohesi (c) = 0,267 kg/cm², sedangkan penambahan abu cangkang kelapa sawit pada campuran 15% diperoleh (ϕ) = 57,5547°, (c) = 0,149 kg/cm², 20% diperoleh (ϕ) = 62,9573°, (c) = 0,140 kg/cm², dan 25% diperoleh (ϕ) = 69,5587°, (c) = 0,038 kg/cm². Sehingga semakin banyak kandungan abu cangkang kelapa sawit, maka sudut geser tanah semakin meningkat, sedangkan kohesi akan berkurang.

Sulistianingsih (2018) dalam penelitiannya tentang *penggunaan campuran limbah abu cangkang sawit (palm oil fuel ash) dan kapur (CaCO³) sebagai bahan stabilisasi tanah gambut Kalimantan menyatakan bahwa* tanah gambut termasuk dalam tanah organik yang memiliki kadar air yang tinggi dan sifat pemampatan yang besar, sehingga menimbulkan banyak kendala bagi konstruksi yang dibangun dan untuk memperbaikinya salah satu metodenya adalah cara stabilisasi tanah gambut dengan di campur material berupa abu cangkang sawit dan kapur. Penelitian ini menggunakan pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* dan *Direct Shear Test*. Pada pengujian ini bahan tambah yang dicampurkan dengan tanah gambut asli memiliki variasi sebesar 9% abu cangkang sawit dan kapur 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. Penambahan abu cangkang sawit dan kapur dengan presentase tersebut akan di lihat pengaruhnya terhadap nilai CBR, nilai kohesi dan

nilai sudut geser tanah gambut asli sebelum dan sesudah distabilisasi menggunakan abu cangkang sawit dan kapur. Berdasarkan hasil penelitian, penambahan abu cangkang sawit dan kapur dapat menaikkan nilai CBR dan kohesi, namun menurunkan nilai sudut geser dalamnya. Nilai CBR tertinggi diperoleh sebesar 11,46% pada variasi campuran 9% abu cangkang sawit dan 25% kapur. Nilai CBR tersebut naik lima kali lipat dari nilai CBR tanah gambut asli sebesar 1,96% tanpa bahan campuran. Sedangkan untuk nilai kohesi tertinggi didapatkan dari variasi 9% abu cangkang sawit dan kapur 25% sebesar 0,42 kg/cm².

Penelitian tentang kuat geser tanah lempung Desa Troketon, Kecamatan Pedan, Kabupaten Klaten yang distabilisasi dengan tras dan gipsum yang dilakukan oleh Risvi (2018). Dalam penelitian ini bahan stabilisasi ialah tras dan gipsum, dengan presentase tras 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dan gipsum dengan presentase 5%. Pengujian sifat fisis tanah asli dan tanah campuran diperoleh kadar air, batas cair, batas plastis, batas susut, indeks plastisitas, lolos saringan No.200 mengalami penurunan, sedangkan *specific gravity* mengalami kenaikan. Klasifikasi tanah menurut AASHTO tanah asli dan tanah campuran tras dan gipsum masuk ke dalam kelompok A-7-6 termasuk tanah berlempung dengan penilaian umum sebagai tanah dasar dari sedang sampai buruk. Klasifikasi tanah menurut USCS tanah asli dan tanah campuran tras dan gipsum masuk kedalam kelompok CH yaitu tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk. Pada Pengujian DST Nilai kohesi dan sudut gesek dalam mengalami peningkatan. Nilai kohesi maksimum adalah 1,2990 kg/cm², dan nilai sudut gesek dalam terbesar adalah 15,56°. Nilai tegangan normal 4,47 kg/cm² dan nilai tegangan geser mengalami kenaikan. Nilai tegangan geser terbesar 2,463 kg/cm².

Penelitian yang dilakukan oleh Widianoro (2017) tentang stabilisasi tanah ekspansif dengan bahan tambah gipsum (studi kasus di kawasan Industri Candi blok k-18, Semarang) dalam penelitian ini digunakan penambahan gipsum dengan persentase gipsum sebanyak 0%, 15%, 20% dan 25% dari berat tanah kering. Uji yang dilakukan di laboratorium meliputi uji mineral tanah, *index properties*, *atterberg limit*, uji saringan, uji hidrometer, uji kompaksi, uji *swelling* dan *direct*

shear. Berdasarkan uji yang telah dilakukan dengan penambahan gipsum, dapat disimpulkan bahwa gipsum memiliki pengaruh yang cukup baik dalam meningkatkan stabilisasi tanah lempung ekspansif.

Penelitian yang dilakukan oleh Siregar, dkk (2017) tentang limbah gipsum lis plafon sebagai bahan stabilisasi tanah lempung menunjukkan hasil penambahan limbah gipsum sebesar 12% pada tanah asli menyebabkan penurunan pada nilai kuat desak (q_u) sebesar 53,47% dan sensitif ratio (St) sebesar 7,74%, sementara regangan (ϵ_f) mengalami kenaikan sebesar 27,15% terhadap tanah asli pada uji UCS. Limbah gipsum tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung karena menurunkan nilai mekanis tanah lempung.

Sari (2017) dalam penelitiannya tentang parameter geser tanah Sukodono Sragen yang distabilisasi dengan gipsum menyatakan bahwa seiring bertambahnya persentase campuran gipsum berat volume kering mengalami kenaikan dengan nilai terbesar pada persentase campuran 10% gipsum sebesar $1,346 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan kadar air optimum mengalami penurunan dengan nilai terkecil pada persentase campuran 10% gipsum sebesar 23,5%. Uji *Direct Shear Test* menunjukkan bahwa nilai kohesi dan nilai sudut gesek dalam mengalami kenaikan seiring bertambahnya persentase campuran gipsum, dengan nilai kohesi terbesar pada persentase campuran 10% gipsum sebesar $1,195 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai sudut gesek dalam terbesar terjadi pada persentase campuran 10% gipsum terbesar $16,01^\circ$, sedangkan nilai tegangan normal dan tegangan geser cenderung mengalami kenaikan, nilai tegangan normal dan tegangan geser terbesar terjadi pada persentase penambahan 10% gipsum.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibawa (2015) tentang pengaruh penambahan limbah gipsum terhadap nilai kuat geser tanah lempung yang menunjukkan nilai S terbesar terjadi pada sampel tanah yang dicampur dengan limbah gipsum sebanyak 8% dengan waktu pemeraman 14 hari yaitu $61,57 \text{ KN/m}^2$. Nilai ini terjadi kenaikan sebesar 116,34% dari sampel tanah asli yang dilakukan pemeraman waktu selama 14 hari. Kenaikan ini terjadi karena gipsum mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung. Gipsum juga lebih menyerap banyak air sehingga membuat campuran limbah dan

sampel tanah akan menjadi semakin keras dan kuat, sehingga dapat meningkatkan nilai kohesi tanah yang menjadikan tiap-tiap partikel tanah terikat dengan kuat dan berpengaruh pada peningkatan nilai kuat geser tanah lempung.

Penelitian yang dilakukan oleh Panjaitan (2012) tentang pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai kohesi tanah mengembang yang distabilisasi dengan abu cangkang sawit yang dilakukan meliputi pengujian pendahuluan untuk mendapatkan sifat fisis dan mekanis dari tanah asli dan pengujian lanjutan dengan Penambahan abu cangkang sawit. Pengujian yang dilakukan uji geser langsung dengan alat *direct shear test* untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dengan kadar abu cangkang sawit 0%, 3%, 6%, 9% serta waktu pemeraman 0, 1, 4, 7 dan 14 hari. Dari penelitian yang dilakukan bahwa campuran abu cangkang sawit dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung dengan meningkatnya nilai kohesi pada variasi campuran 6% dan 9% dengan masa pemeraman 14 hari. Pada variasi 6% nilai kohesi 0,247 kg/cm² dan sudut geser 16,16° sedangkan pada variasi 9% bahwa nilai kohesi 0,247 kg/cm² dan sudut geser 18,23°, dimana pada variasi ini tidak diikuti peningkatan nilai kohesi. Maka dapat diketahui bahwa variasi campuran abu cangkang sawit yang paling efektif adalah pada variasi campuran 6% dan masa pemeraman 14 hari.

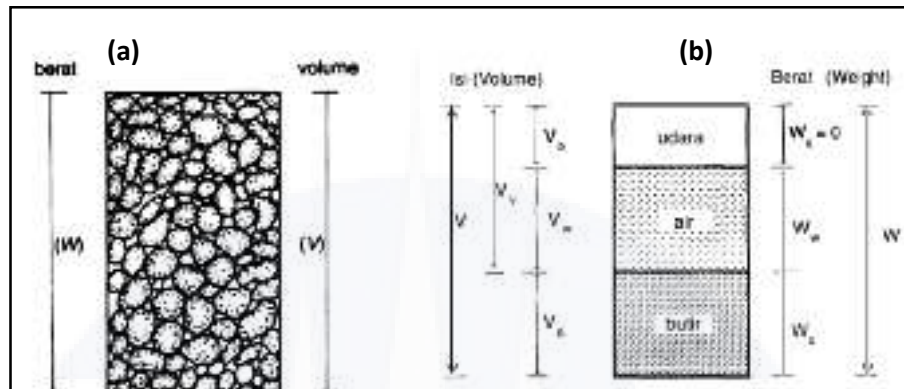
2.2. Landasan Teori

2.2.1. Definisi Tanah

Hardiyatmo (2012) menyatakan bahwa tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara maupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah.

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air, dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi

sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Sumber : DAS, 1995

Gambar 2. 1. (a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) tiga fase elemen tanah

2.2.2. Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda namun mempunyai sifat yang sama kedalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995). Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah kedalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, 1989).

Sistem klasifikasi tanah mempunyai beberapa versi karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway Transportation Officials*). Sistem *unified* pada

mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Dalam rangka kerjasama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa sekarang ini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik (Sulistianingsih, 2018).

Sistem *unified* mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir 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.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu: tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi (Sulistianingsih, 2018).

Tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok yang disajikan pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1. Klasifikasi tanah dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok

Simbol	Klasifikasi Tanah
G	Kerikil (<i>Gravel</i>)
S	Pasir (<i>Sand</i>)
C	Lempung (<i>Clay</i>)
M	Lanau (<i>Silt</i>)
O	Lanau atau lempung organik (<i>organic silt or clay</i>)
Pt	Tanah gambut dan tanah organik tinggi (<i>peat and highly organic soil</i>)
W	Gradasi baik (<i>well-graded</i>)
P	Gradasi buruk (<i>poorly-graded</i>)

Simbol	Klasifikasi Tanah
H	Plastisitas tinggi (<i>High-plasticity</i>)
L	Plastisitas rendah (<i>low-plasticity</i>)

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem *Unified* adalah sebagai berikut (Nasution, 2018):

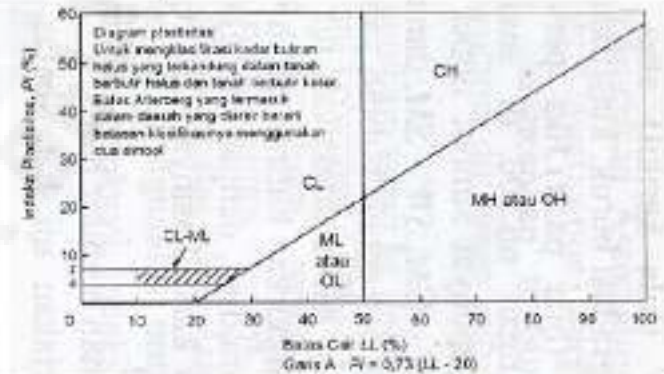
1. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan menyaringnya dengan saringan No.200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar:
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan No.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan No.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila krikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila krikil) atau SP (bila pasir).
 - d. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan No.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 - e. Jika persentase butiran yang lolos saringan No.200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan No.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
3. Untuk tanah berbutir halus:
 - a. Kerjakan uji batas-batas atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan No.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan

sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).

- b. Untuk H (plastisitas Tinggi), jika plot batas-batas atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
 - c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai anorganik (ML) berdasarkan warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisitasnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
- Adapun tabel klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*) dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Tabel 2. 2. Sistem klasifikasi tanah USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dan fraksi kasar ke-tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
			GP	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung	
			GC	
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
			SP	
		SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	
			SC	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kasar ("lean clays")	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus distouse, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		P	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	 <p>Diagram plastisitas untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan lempung serbuk kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarahkan oleh panah menunjukkan penggunaan dua simbol.</p> <p>Maksimal untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488</p>

Sumber : Hardiyatmo, 2012

2.2.3. Sifat Fisis Tanah

1. Kadar Air (*water content*)

Kadar air (w) yang disebut juga *water content* didefinisikan sebagai perbandingan antar berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Hasil dari Pengujian kadar air ini dapat digunakan untuk menentukan konsistensi perilaku material dan sifatnya. Pada tanah kohesif konsistensi tanah tergantung dari nilai kadar airnya. Adapun tahapan-tahapan dalam pengujian ini sesuai dengan SNI 1965:2008.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pengujian kadar air ini adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

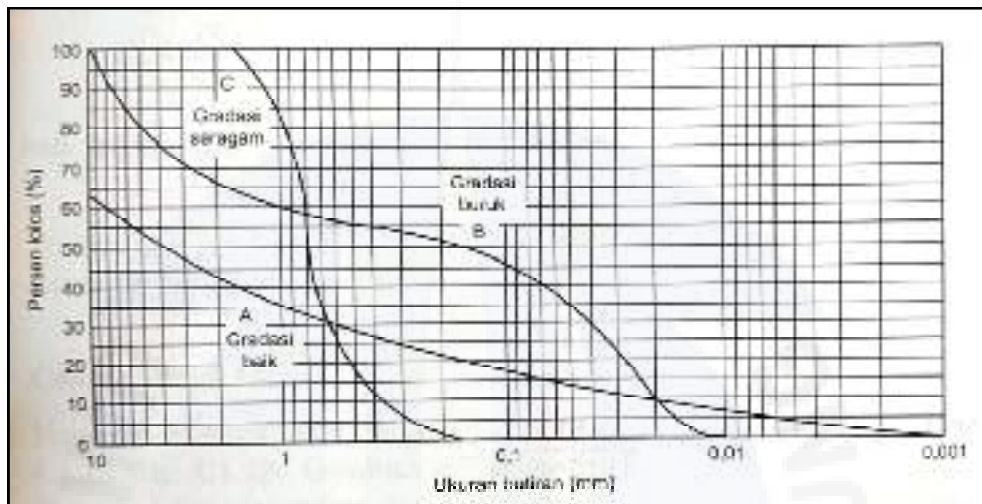
- W = Kadar air (%)
- W_1 = Berat cawan + tanah basah (gr)
- W_2 = Berat cawan + tanah kering (gr)
- W_3 = Berat cawan (gr)
- $W_1 - W_2$ = Berat air (gr)
- $W_2 - W_3$ = Berat tanah kering (partikel padat) (gr)

2. Gradasi Tanah (Analisis Saringan)

Menurut Wesley (2012), analisis saringan merupakan analisis yang dilakukan untuk menentukan gradasi butir (distribusi ukuran butir), yaitu dengan cara menggetarkan contoh tanah kering melalui satu set ayakan sesuai dengan ukuran ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kebawah makin kecil secara berurutan.

Gabungan antara analisis saringan dan sedimentasi dapat digunakan untuk tanah yang terdiri dari campuran butiran halus dan kasar. Hasil penggambaran kurva yang diperoleh, tanah berbutir kasar digolongkan sebagai gradasi baik bila tidak ada kelebihan butiran pada sembarang ukurannya dan tidak ada yang kurang pada ukuran butiran sedang. Umumnya tanah bergradasi baik jika distribusi

ukuran butirannya tersebar meluas (pada ukuran butirannya). Tanah berbutir kasar digambarkan sebagai bergradasi buruk, bila jumlah berat butiran sebagian besar mengelompok di dalam batas interval diameter butir yang sempit (disebut gradasi seragam). Tanah juga termasuk bergradasi buruk, jika butiran besar maupun kecil ada, tapi dengan pembagian butiran yang relatif rendah pada ukuran sedang (Gambar 2.2) (Hardiyatmo, 2012).



Sumber : Hardiyatmo, 2012

Gambar 2. 2. Analisis distribusi ukuran butiran

Hardiyatmo (2012) menyatakan bahwa notasi D_{10} didefinisikan sebagai 10% dari berat butiran total berdiameter lebih kecil dari ukuran butiran tertentu. Sebagai contoh, kurang dari 0,45 mm. Ukuran-ukuran yang lain seperti D_{30} , D_{60} didefinisikan seperti cara yang sama. Ukuran D_{10} didefinisikan sebagai ukuran efektif (*effective size*).

Kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi butiran digambarkan oleh koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*), C_u , dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*), C_c , yang diberikan menurut persamaan:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \dots \dots \dots (2.3)$$

Tanah bergradasi baik jika mempunyai koefisien gradasi $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 4$ untuk kerikil, dan $C_u > 6$ untuk pasir. Tanah disebut bergradasi sangat baik, bila $C_u > 15$.

Analisis butiran tanah bertujuan untuk menentukan gradasi butir (distribusi ukuran butir) dimana butiran tersebut termasuk agregat halus menggunakan saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Tahapan-tahapan dalam pengujian analisis ukuran butiran tanah sesuai dengan SNI 3423:2008. Adapun ukuran saringan dalam pengujian analisis ukuran butiran tanah ini dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Ukuran saringan

Ukuran Saringan (mm)	Alternatif Satuan
4,75	No.4
2,36	No. 8
2,00	No. 10
1,18	No. 16
0,60	No. 30
0,425	No. 40
0,30	No. 50
0,15	No. 100
0,075	No. 200

Sumber : SNI 3423:2008

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan dan pengujian analisis saringan sebagai berikut:

$$JK = W_t \text{ sekarang} + JK_{\text{sebelum}} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\%W_t = \frac{JK}{W_d} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\% \text{ Lolos} = 100 \% - \% W_t \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

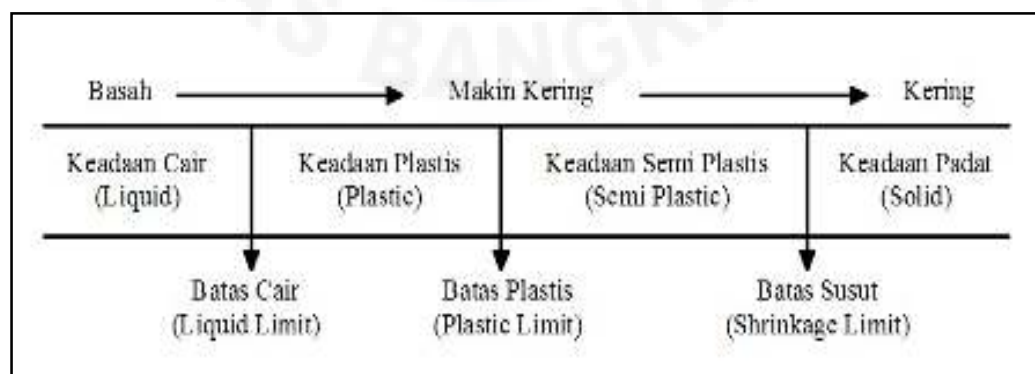
JK = Jumlah Kumulatif (gr)

- $W_{t \text{ sekarang}}$ = Berat tanah tertinggal sekarang (gr)
 JK_{sebelum} = Jumlah kumulatif sebelumnya (gr)
 $\%W_t$ = Persen berat tertinggal (%)
 W_d = Berat kering tanah (gr)

3. Batas-Batas Atterberg (*atterberg limit*)

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap (*adsorbed water*) di sekeliling permukaan dari partikel lempung. Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bila kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu: padat, semi padat, plastis, dan cair.

Kadar air dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air dimana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas atterberg (*atterberg limit*).



Sumber: Hardiyatmo, 2002

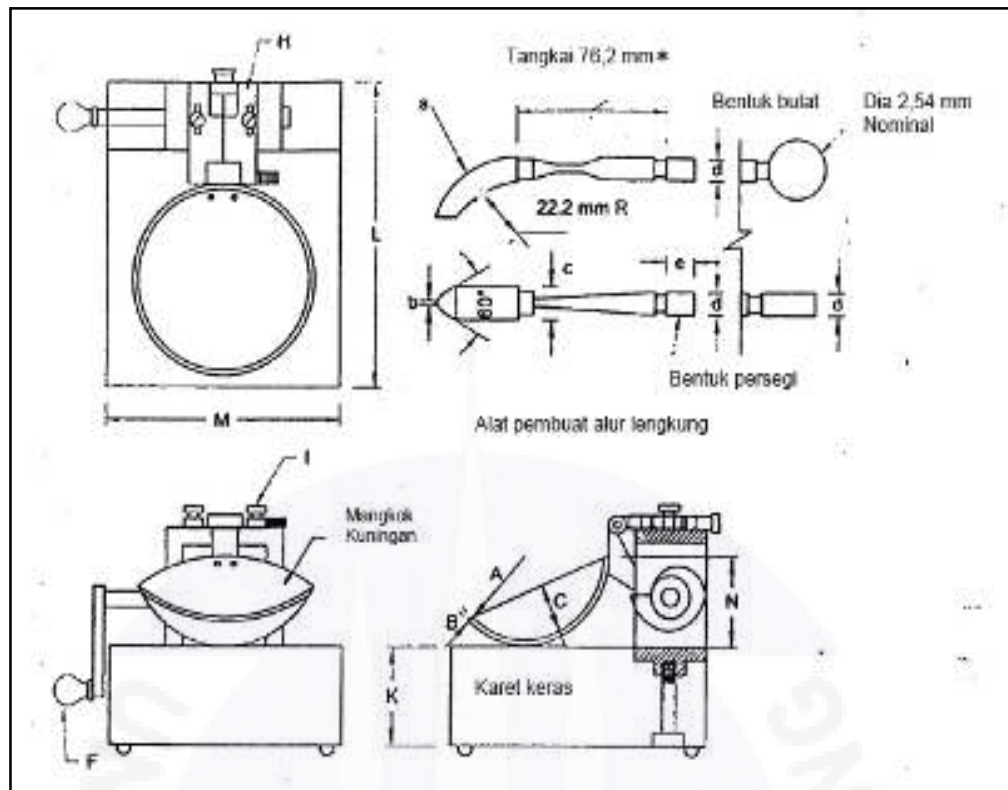
Gambar 2. 3. Batas-batas atterberg

a. Batas Cair (*liquid limit*)

Batas cair (*liquid limit*) adalah sebagai kadar air pada tanah ketika tanah berada diantara keadaan plastis dan keadaan cair. Batas cair ditentukan dari pengujian Cassagrande (1948), yakni dengan menggunakan cawan yang telah dibentuk sedemikian rupa yang telah berisi sampel tanah yang telah dibelah oleh *grooving tool* dan dilakukan dengan pemukulan dengan dua sampel dengan pukulan diatas 25 pukulan dan dua sampel dengan pukulan dibawah 25 pukulan sampai tanah yang telah dibelah tersebut menyatu. Hal ini dimaksudkan agar mendapatkan persamaan sehingga didapatkan nilai kadar air pada 25 kali pukulan. Batas cair memiliki batas nilai antara 0 - 1000, akan tetapi kebanyakan tanah memiliki nilai batas cair kurang dari 100 (Holtz dan Kovacs, 1981). Pada penelitian ini dilakukan pengujian dan perhitungan batas cair berdasarkan SNI 1967:2008. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai kadar air dalam persen dan berat tanah kering oven adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase kadar air} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah kering oven}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Adapun peralatan yang digunakan untuk pengujian batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Sumber : SNI 1967:2008

Gambar 2. 4. Peralatan pengujian batas cair

b. Batas Plastis (*plastic limit*)

Batas plastis (*plastic limit*) dapat didefinisikan sebagai kadar air pada tanah ketika tanah berada diantara daerah semi padat dan daerah plastis. Batas plastis memiliki batas nilai antara 0 - 100, akan tetapi kebanyakan tanah memiliki nilai batas cair kurang dari 40. Batas plastis suatu tanah dapat diketahui dengan percobaan menggulung tanah berbentuk silinder dengan diameter sekitar 3,18 mm dan mulai mengalami retak-retak ketika digulung, kadar air dari sampel tersebut adalah batas plastis.

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai batas plastis berdasarkan SNI 1966:2008 sebagai berikut:

$$PL = \frac{\text{berat massa air}}{\text{berat massa tanah kering}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitan tanah. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis besar disebut tanah gemuk. Berdasarkan SNI 1966:2008 Nilai indeks plastisitas dapat dihitung dengan Persamaan 2.9 berikut:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

PI : Indeks Plastisitas (%)

LL : Batas Cair (%)

PL : Batas Plastis (%)

Klasifikasi jenis tanah berdasarkan indeks plastisitasnya dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan indeks plastisitasnya

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

Sumber : Hardiyatmo, 2012

4. Berat Jenis (*specific gravity*)

Berat jenis (*specific gravity*) merupakan perbandingan antara berat isi butir tanah dan berat isi air pada temperatur dan volume yang sama. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis tanah dengan menggunakan alat piknometer. Berat jenis didefinisikan sebagai angka perbandingan antara berat isi butir tanah dan berat isi air suling pada temperatur dan volume yang sama (SNI 1964-2008). Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan berat jenis tanah adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_4 + (W_2 - W_1) - W_3} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

W_1 = Berat piknometer (gr)

W_2 = Berat piknometer + tanah (gr)

W_3 = Berat piknometer + tanah + air (gr)

W_4 = Berat piknometer + air (gr)

Tabel 2. 5. Hubungan antara kerapatan relatif air dan faktor konversi K dalam temperatur

No.	Temperatur (°C)	Hubungan kerapatan relatif air	Faktor koreksi K
1	18	0,9986244	1,0004
2	19	0,9984347	1,0002
3	20	0,9982343	1,0000
4	21	0,9980233	0,9998
5	22	0,9978019	0,9996
6	23	0,9975702	0,9993
7	24	0,9973286	0,9991
8	25	0,9970770	0,9989
9	26	0,9968156	0,9986
10	27	0,9965451	0,9983
11	28	0,9962652	0,9980
12	29	0,9939761	0,9977
13	30	0,9956780	0,9974

Sumber: SNI 1964:2008

5. Pemadatan

Pemadatan adalah peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis. Oleh sebab itu, butir-butir tanah merapat satu sama lain sebagai akibat berkurangnya rongga udara. Pada pemadatan, bertambahnya berat volume kering

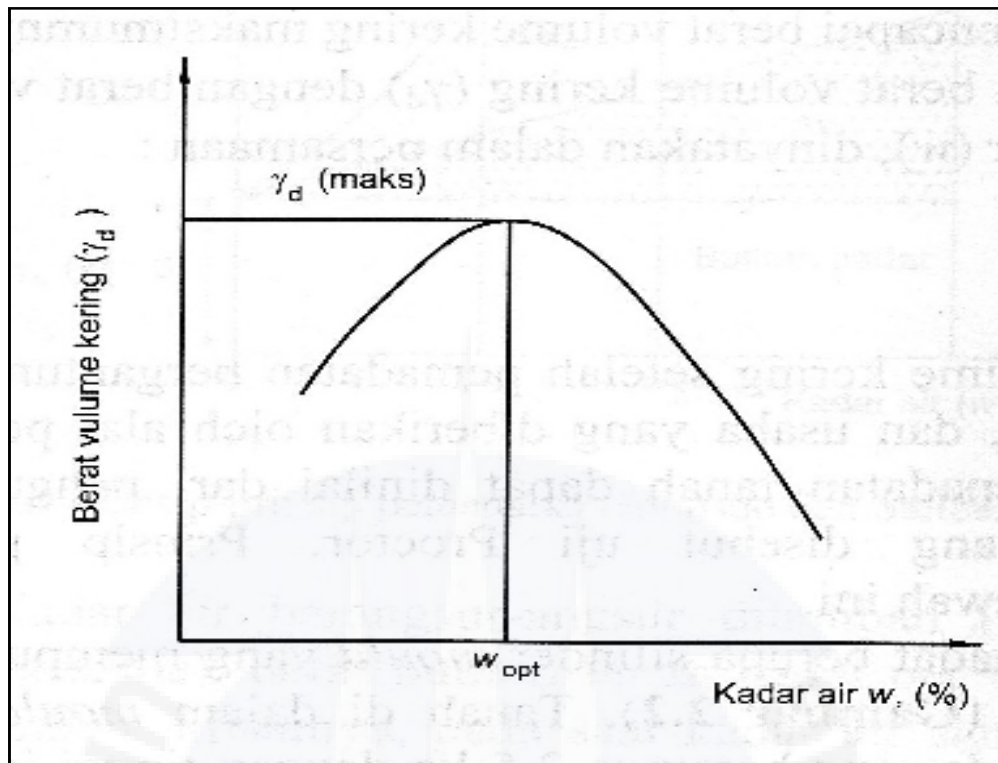
tanah sebagai akibat pemadatan partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan volume air tetap tidak berubah (Hardiyatmo, 2012).

Wesley (2012) menyatakan bahwa pemadatan adalah proses yang memakai tenaga dinamik untuk menjadikan tanah lebih padat dan sekaligus mengeluarkan udara. Kadar air tanah tidak berubah ketika tanah itu dipadatkan. Bowles (1989) dalam Sulistianingsih (2018) menyatakan bahwa teori pemadatan pertama kalinya dikembangkan oleh R.R. Proctor. Metode yang orisinil dilaporkan melalui serangkaian artikel dalam *Engineering New Record*. Oleh karena itu, prosedur dinamik laboratorium yang standar biasanya disebut dengan uji *proctor*.

Pemadatan sering dilakukan guna mendukung perbaikan tanah dalam proses pembangunan. Tujuan pemadatan tanah adalah untuk memperoleh stabilitas tanah dan memperbaiki sifat-sifat teknisnya. Oleh karena itu, sifat teknis timbunan sangat penting diperhatikan, tidak hanya kadar air dan berat volume keringnya. (Hardiyatmo, 2012).

Hardiyatmo (2012) menyatakan bahwa untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Proctor (1933) dalam Hardiyatmo (2012), telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

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. Grafik hubungan kadar air dan berat volume kering tersaji pada Gambar 2.5.



Sumber : Hardiyatmo, 2012

Gambar 2. 5. Grafik hubungan kadar air dan berat volume kering

Dalam percobaan pemadatan ini, dilakukan dengan menggunakan percobaan modified. Langkah-langkah dalam melakukan percobaan ini sesuai dengan SNI 1743:2008.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pengujian pemadatan tanah adalah sebagai berikut:

$$W_w = W_2 - W_3 \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

W_w = Berat air (gr)

W_2 = Berat cawan + tanah basah (gr)

W_3 = Berat cawan + tanah kering (gr)

$$W_d = W_3 - W_1 \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

W_d = Berat tanah kering (gr)
 W_3 = Berat cawan + tanah kering (gr)
 W_1 = Berat cawan (gr)

$$\omega = \frac{W_w}{W_d} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

ω = Kadar air (%)
 W_w = Berat air (gr)
 W_d = Berat tanah kering (gr)

$$W_t \text{ mol} = (W_t + \text{Mol}) - W_{\text{mol}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

$W_{t \text{ mol}}$ = Berat tanah dalam mol (gr)
 $W_t + \text{Mol}$ = Berat tanah + mol (gr)
 W_{mol} = Berat mol (gr)

$$\text{Kepadatan basah} = \frac{W_{t \text{ mol}}}{\text{Volume Mol}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

Kepadatan basah = (gr/cm³)
 $W_{t \text{ mol}}$ = Berat tanah dalam mol (gr)
 Volume Mol = (cm³)

$$\text{Kepadatan kering} = \frac{\text{Kepadatan Basah}}{1 + \frac{\omega}{100}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

ω = Kadar air (%)

Kepadatan kering = (gr/cm³)

Kepadatan basah = (gr/cm³)

$$ZAV = \frac{G_s}{100 + (G_s \times \text{Kadar Air})\%} \times 100\% \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

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

γ_w = Berat volume air

e = Angka pori

G_s = Berat spesifik butiran pada tanah

6. Kuat Geser Tanah

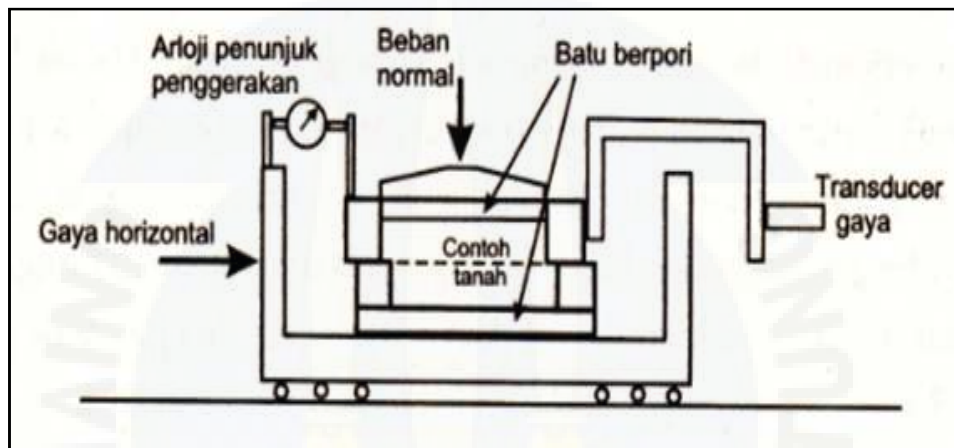
Hardiyatmo (2012) menyatakan bahwa kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

- a. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- b. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Pengujian *Direct Shear* atau penentuan kuat geser tanah untuk memperoleh parameter kuat geser tanah terganggu atau tanah tidak terganggu yang terkonsolidasi, dan uji geser dengan beri kesempatan berdrainase dan kecepatan, pergeseran/deformasi tetap. Parameter tersebut berupa koefisien konsolidasi, kecepatan pergeseran, tegangan geser tanah, dan regangan geser, serta hubungan antara tegangan dengan regangan geser, yang akan digunakan untuk keperluan analisis perhitungan stabilitas bangunan atau timbunan (SNI 2813-2008).

Wesley (2012), uji geser langsung merupakan salah satu pengujian parameter kohesi tanah (c) dan sudut geser tanah (ϕ) (Gambar 2.6). Pada proses pengujian mula-mula contoh tanah ditempatkan pada sebuah kotak logam dengan penampang persegi atau lingkaran. Kotak tersebut terbagi menjadi dua bagian,

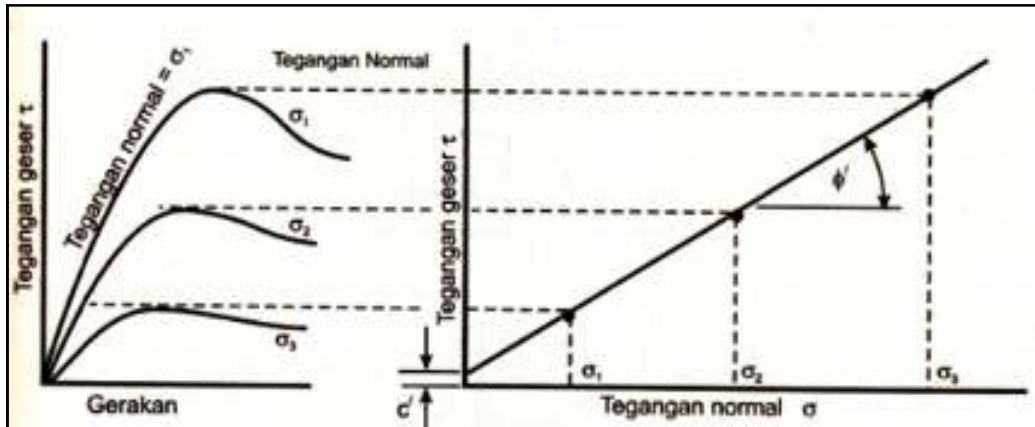
yaitu bagian atas dan bagian bawah. Diatas dan dibawah contoh tanah ditempatkan sebuah batu berpori bila contoh tanah tersebut jenuh sempurna atau jenuh sebagian sehingga air dapat mengalir. Sistem gantungan dan pemberi beban digunakan untuk memberikan tegangan normal (vertikal) pada contoh tanah. Alat pendorong kemudian memberikan gaya horizontal pada bagian bawah kotak, sementara bagian atasnya tetap diam. Gaya horizontal diberikan dengan memakai kecepatan deformasi yang tetap, deformasi dan gaya diukur sampai pengujian selesai.



Sumber: Wesley, 2012

Gambar 2. 6. Alat uji geser langsung

Pengujian ini dilakukan dengan tegangan normal yang berbeda-beda. Masing-masing hasil pengujian diplot dalam bentuk grafik, yang pertama adalah kurva tegangan terhadap penurunan, dan yang kedua tegangan geser (nilai keruntuhan atau nilai puncak) terhadap tegangan normal, seperti terlihat pada Gambar 2.7 garis yang melalui titik ini c' dan ϕ' dari tanah tersebut.



Sumber: Wesley, 2012

Gambar 2. 7. Uji geser langsung

Adapun rumus dari kekuatan geser tanah oleh Coulomb (1773) dalam Soedarmo dan Purnomo (1997), dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$s = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan:

s = Kekuatan geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi atau pengaruh tarikan antar partikel, hamper tidak tergantung pada tegangan normal pada bidang (kN/m²)

σ = Tegangan normal

ϕ = Sudut geser

$$\sigma = \frac{Pv}{A} \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan:

σ = Tegangan normal (kN/m²)

Pv = Beban normal (kN/m²)

A = Luas penampang contoh tanah

$$\tau = \frac{Ph}{A} \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan:

- τ = Tegangan geser (kN/m²)
 Ph = Gaya horizontal (kN/m²)
 A = Luas penampang contoh tanah

Dari hasil analisis Persamaan 2.17 dan 2.18 dimasukkan dalam sebuah grafik hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser untuk memperoleh parameter kohesi (c) dan sudut geser (ϕ). Baik dan buruknya suatu konsistensi tanah, dapat kita lihat dengan menghubungkan korelasi antara nilai kohesi dengan nilai N-SPT pada tanah. Hubungan ini dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6. Hubungan korelasi antara nilai kohesi (c) dengan nilai N-SPT

Kohesi (kN/m ²)	Nilai N-SPT	Konsistensi
<10	<4	Sangat Lunak
10 – 35	4 – 10	Lunak
35 – 65	10 – 30	Sedang
65 – 90	30 – 50	Kaku
>90	>50	Sangat Kaku

Sumber : Wesley, 2012

2.2.4. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah. Apabila tanah terdapat dilapangan bersifat sangat lepas dan sangat mudah tertekan, atau mempunyai indeks konsistensi tidak sesuai, permeabilitas terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan (Bowles, 1984).

Menurut Hardiyatmo (1992) tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak diatas batu dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari pelapukan batuan menjadi partikel kecil yang terjadi akibat erosi, air, angin, es, manusia ataupun akibat perubahan suhu atau cuaca. Sedangkan Craig (1991) dalam Hardiyatmo (1992) menjelaskan bahwa tanah adalah akumulasi mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Ruang diantara

partikel-partikel terdapat ruang-ruang kosong yang terisi oleh zat cair dan udara. Secara garis besar, jika ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yaitu:

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*)

Perbaikan tanah adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan *additive* (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik). Perbaikan tanah relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik.

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas tiga jenis, yaitu:

- a. Stabilisasi kimiawi, yaitu stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah (*additives*) yang dicampurkan ke dalam tanah dengan perbandingan tertentu yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti kekuatan tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas.
- b. Stabilisasi fisik, yaitu mengenakan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
- c. Stabilisasi mekanis, yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis diistilahkan sebagai perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Contohnya stabilisasi dengan *metal strip*, *geotextile*, *geomembrane*, *geogrid*, *vertical drain*, dan lain sebagainya.

2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*)

Perkuatan tanah adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki atau mempertahankan kemampuan dan kinerja sesuai syarat teknis

yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan kedalam lapisan tanah tersebut. Perkuatan tanah relevan dengan stabilisasi mekanis.

2.2.5. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung bersifat sangat keras dalam keadaan kering dan plastis dalam selang kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi, lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Das, 1985).

Tanah lempung memiliki ukuran butiran halus $< 0,002$ mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan poses konsolidasi lambat (Hardiyatmo, 1992). Warna tanah pada tanah lempung tidak dipengaruhi oleh unsur kimia yang terkandung didalamnya, karena tidak adanya perbedaan yang dominan dimana ke semuanya hanya dipengaruhi oleh unsur natrium saja yang paling mendominasi. Semakin tinggi plastisitas, grafik yang dihasilkan pada masing-masing unsur kimia belum tentu sama. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur warna tanah dipengaruhi oleh nilai *Liquid Limit* (LL) yang berbeda (Marindo, 2005 dalam Setiawan, dkk 2015)

Tanah lempung mempunyai sifat-sifat khas yaitu, dalam keadaan kering akan bersifat keras, apabila dalam keadaan basah akan bersifat lunak plastis dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu (Nasution, 2018).

Tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah, kadar air, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, dan sementasi dan adanya bahan organik (Nasution, 2018).

2.2.6. Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit dihasilkan dari limbah padat kelapa sawit pada suhu sekitar 800 - 1.000°C pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit (Tangchirapat, 2009). Abu cangkang sawit dapat digunakan sebagai pozzolan yaitu bahan halus yang mengandung silika dan alumina yang dapat bereaksi dan membentuk bahan semen (Nasution, 2018).

Propertis tanah kohesif diubah dengan penambahan abu cangkang sawit sehingga pemadatan menghasilkan derajat kompaksi yang tinggi dan terjadi pula ikatan antara bahan pengikat dan partikel tanah kohesif (Nugroho, dkk 2013). Penggunaan abu sawit sebagai bahan stabilisasi tanah dapat menambah nilai kuat tekan tanah, meningkatkan kuat geser tanah dan menurunkan nilai indeks plastis sebesar 14,2% dengan menambahkan abu sawit hingga 20% pada tanah. Abu cangkang sawit merupakan bahan pozzolanik, yaitu material utama pembentuk semen, yang mengandung senyawa silika oksida (SiO_2) aktif (Edison, 2003).

Berdasarkan pengamatan secara visual, abu cangkang sawit memiliki berbagai karakteristik, diantaranya bentuk partikel abu cangkang sawit tidak beraturan yakni ada yang memiliki butiran bulat panjang dan bersegi dengan ukuran butiran 0 - 2,3 mm serta warna abu-abu kehitaman (Panjaitan, 2012). Aplikasi dalam ilmu teknik, abu cangkang kelapa sawit dimanfaatkan berbagai bidang antara lain (Sarifah dan Pasaribu, 2017) :

- a. Sebagai bahan tambahan pengganti semen dalam design beton mutu tinggi.
- b. Bahan pengisi (*Filler*) dan lapisan perkerasan jalan raya.
- c. Bahan stabilisasi campuran tanah lempung dan dasar pada lapisan jalan raya.
- d. Bahan tambah pengganti semen dalam campuran material paving blok serta juga merupakan bahan material yang bersifat pozzolan.

Komposisi hasil pembakaran abu cangkang sawit disajikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7. Komposisi hasil pembakaran abu cangkang sawit

Parameter	Hasil Uji	Metode Uji
K ₂ O (Kalium)	7,40 %	SNI 02.2803.2000
MgO (Magnesium)	3,19 %	SNI 02.2804.2005

Parameter	Hasil Uji	Metode Uji
CaO (Kalsium)	5,32 %	SNI.02.2804.2005
SiO ₂ (Silika)	52,2%	SNI.02.2804.2005

Sumber : Sarifah, 2017

2.2.7. Gypsum

Gypsum adalah batu putih yang terbentuk karena pengendapan air laut. Gypsum merupakan bahan baku yang dapat diolah menjadi kapur tulis dan juga digunakan untuk pembuatan bangunan plester, papan dinding, ubin. Gypsum sebagai perekat mineral mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan dengan perekat organik karena tidak menimbulkan pencemaran udara, murah, tahan api, tahan deteriorasi oleh faktor biologis dan tahan terhadap zat kimia (Purwadi, 1993).

Secara umum gypsum dituliskan dengan rumus kimia sebagai (CaSO₄ (2H₂O)). Gypsum merupakan mineral terbanyak dalam batuan sedimen lunak bila murni. Merupakan bahan baku yang dapat diolah menjadi kapur tulis, ataupun bahan bahan bangunan (Batubara, 2016). Kandungan dari persentase bahan kimia gypsum disajikan pada Tabel 2.8. berikut:

Tabel 2. 8. Komposisi kimia gypsum

No.	Senyawa	Persentase
1	Kalsium (Ca)	23,28%
2	Hidrogen (H)	2,34%
3	Kalsium Oksida (CaO)	32,57%
4	Air (H ₂ O)	20,93%
5	Sulfur (S)	18,62%

Sumber : Surya, 2014

Gypsum digunakan untuk pembuatan bangunan plester, papan dinding, ubin, sebagai penyerap untuk bahan kimia, sebagai pigmen cat dan perluasan, dan untuk pelapisan kertas. *Gypsum californi*alami, berisi 15% - 20% belerang, digunakan

untuk memproduksi *ammonium sulfate* untuk pupuk. Gypsum juga digunakan untuk membuat asam belerang dengan pemanasan sampai 2000°F (1093°C) dalam permukaan tertentu. Resultan *calcium sulfida* bereaksi untuk menghasilkan kapur perekat dan *sulfuric acid*. Sedangkan gypsum mentah bisa digunakan untuk campuran *Portland Cement* (Batubara, 2016).

Sekarang ini gypsum banyak digunakan pada hiasan bangunan, bahan dasar pembuat semen, pengisi (*filler*) cat, bahan pembuat pupuk (*fertilizer*) dan berbagai macam keperluan lainnya. Kelebihan dari penggunaan gypsum dalam pekerjaan teknik sipil yaitu (www.minerals.net, 2005 dalam Wibawa, 2015):

- a. Gypsum yang dicampur lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium pada gypsum sehingga pengembangannya lebih kecil.
- b. Gypsum dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.
- c. Gypsum meningkatkan kecepatan rembesan air, dikarenakan gypsum lebih menyerap banyak air.