

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Tanah

Tanah menduduki peran yang sangat vital dalam sebuah konstruksi bangunan. Tanah berguna sebagai bahan bangunan dalam berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Fungsi paling utama dari tanah adalah sebagai pendukung pondasi dari sebuah bangunan. Fungsi tanah ini sangat penting karena berfungsi sebagai pendukung pondasi dari bangunan yang memerlukan kondisi tanah yang stabil, sehingga apabila ada sifat tanah yang kurang mampu mendukung bangunan harus dipersiapkan terlebih dahulu agar mencapai daya dukung tanah yang diperlukan. Salah satu jenis tanah yang mempunyai daya dukung rendah adalah jenis tanah lunak (Panduan Geoteknik 1, 2001).

Menurut Braja M. Das (1995) tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran atau agregat mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan berasal dari bahan-bahan organik yang melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong di antara partikel padat tersebut

Untuk keperluan-keperluan teknis, tanah dianggap merupakan suatu lapisan sedimen lepas seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*) atau suatu campuran dari bahan-bahan tersebut. Hendaknya jangan dikacaukan dengan definisi tanah secara geologis, yang merupakan bahan organik pada permukaan yang terpengaruh cuaca, atau tanah lapisan-atas (*top soil*). Tanah lapisan atas pada umumnya dibongkar sebelum suatu proyek teknis dikerjakan (M. J. Smith, 1984).

Sedangkan menurut Bowles (1989), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

- a. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm samapi bahan halus yang berukuran < 1 mm.

- d. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm.
- e. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Pasir dan Kerikil merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragmen-fragmen sub-angular atau angular, agaknya berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan. Partikel berukuran sampai 1/8 inci dinamakan pasir, dan yang berukuran 1/8 sampai 6 atau 8 inci disebut kerikil. Fragmen-fragmen bergaris-tengah lebih besar dari 8 inci dikenal sebagai bongkah (*boulders*).

Hardpan merupakan tanah yang tahanannya terhadap penetrasi alat pemboran besar sekali. Sebagian besar "*hardpan*" dijumpai dalam keadaan bergradasi baik. luar biasa padat, dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

Lanau anorganik (*inorganic silt*) merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau samasekali tak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimen, yang kadang-kadang disebut: tepung batuan (*rock flour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis. Karena teksturnya halus, lanau anorganik sering dianggap sebagai lempung, tetapi sebenarnya dapat dibedakan tanpa pengujian laboratorium. Jika diguncang dalam telapak tangan, selapis lanau anorganik jenuh akan mengeluarkan air sehingga permukaannya akan nampak berkilat. Selanjutnya bila dilekukkan di antara jari tangan. permukaannya kembali pudar tak berkilat. Prosedur ini dikenal sebagai uji guncangan. Setelah kering, lapisan menjadi rapuh, dan debu dapat dikelupas dengan menggosokkan jari tangan. lanau relatif bersifat kedap air. namun dalam keadaan lepas lanau bisa naik ke lubang pengeboran atau lubang galian seperti layaknya suatu cairan kental. Tanah paling tidak stabil. menurut kategori ini, dikenal secara setempat dengan nama berbeda-beda, misalnya: hati sapi (*hull's liver*).

Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Mungkin pula dijumpai adanya kulit-kulit dan fragmen tumbuhan yang meluruh sebagian. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, di samping itu mungkin mengandung H_2S , CO_2 , serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedang kompresibilitasnya sangat tinggi.

Lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah. Istilah "gumbo" digunakan, khususnya di Amerika bagian barat, untuk lempung yang keadaan plastisnya ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin, serta amat keras. Pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket.

Lempung organik adalah lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi oleh adanya bahan organik yang terpisah. Dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel, tapi pada keadaan kering kekuatannya (*strength*) sangat tinggi. Warnanya biasanya abu-abu tua atau hitam, di samping itu mungkin berbau menyolok.

Gambut (*peat*) adalah tanah yang mempunyai karakteristik yang sangat berbeda dibandingkan lempung, secara fisik tanah gambut dikenal sebagai tanah yang mempunyai kandungan bahan organik dan kadar air yang sangat tinggi, angka pori yang besar, dan adanya serat-serat. Secara teknis tanah gambut sendiri merupakan tanah yang kompresibilitas primer yang singkat, adanya kompresibilitas itupun terjadi pada tekanan efektif yang konstan atau akibat *creep*, dan kemampuan mendukung beban yang rendah.

Seandainya suatu tanah tersusun dari dua jenis tanah yang berbeda, maka campuran yang terbanyak (dominan) dinyatakan sebagai kata benda, sedang yang lebih sedikit atau kurang menonjol dinyatakan sebagai kata sifat. Misalnya: pasir lanauan, menyatakan tanah yang mengandung banyak pasir, sedangkan lanau hanya

berjumlah sedikit saja. Lempung pasir adalah tanah yang memperlihatkan sifat-sifat sebuah lempung tetapi mengandung sedikit pasir.

Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, terdapat jenis-jenis tanah yang di pisahkan (*soil separated soil limits*) pada tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah.

Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
<i>U.S Department of Agriculture (USDA)</i>	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway Transportation Officials (ASSHTO)</i>	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)</i>	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,075	

Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995, 7*

Kerikil, pasir, lanau, dan lempung adalah istilah-istilah umum dipakai untuk menyatakan tanah. Kerikil dan pasir dikenal sebagai tanah berbutir kasar, sedangkan lanau dan lempung dikenal sebagai tanah halus. Material butir kasar adalah fragmen mineral yang dapat diidentifikasi terutama berdasarkan ukuran partikel. Apabila diameter partikelnya melebihi 5 mm diklasifikasikan sebagai kerikil. Apabila butiran tanah dapat dilihat dengan mata telanjang diameter partikelnya kurang 5 mm diklasifikasikan sebagai pasir. Nama ini biasanya dimodifikasi lebih lanjut sebagai kasar, sedang, dan halus.

2.2. Tanah Timbunan

Tanah timbunan dibagi dalam dua macam sesuai dengan maksud penggunaannya yaitu:

2.2.1 Timbunan Biasa

Timbunan biasa adalah timbunan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan tanpa maksud

khusus lainnya. Timbunan biasa ini juga digunakan untuk penggantian material eksisting *subgrade* yang tidak memenuhi syarat.

Bahan urugan biasa harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- a. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari tanah yang disetujui oleh Pengawas yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen.
- b. Bahan yang dipilih tidak termasuk tanah yang plastisitasnya tinggi, yang diklasifikasi sebagai A-7-6 dari persyaratan AASHTO M-145 atau sebagai CH dalam sistem klasifikasi “*Unified* atau *Casagrande*”. Sebagai tambahan, timbunan ini harus memiliki CBR yang tak kurang dari 6 %, bila diuji dengan AASHTO T 193.
- c. Tanah yang pengembangannya tinggi yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25 bila diuji dengan AASHTO T-258, tidak boleh digunakan sebagai bahan urugan. Nilai aktif diukur sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (PI) – (AASHTO T-90) dan persentase ukuran lempung (AASHTO T-88).

2.2.2 Timbunan Pilihan

Timbunan pilihan adalah timbunan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan dengan maksud khusus lainnya, misalnya untuk mengurangi tebal lapisan fondasi bawah, untuk memperkecil gaya lateral tekanan tanah dibelakang dinding penahan tanah badan jalan.

Bahan timbunan pilihan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai “Timbunan Pilihan” bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud yang telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh Pengawas.
- b. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah berpasir (*sandy clay*) atau padas yang memenuhi persyaratan dan sebagai tambahan harus memiliki sifat tertentu tergantung dari maksud penggunaannya. Dalam segala hal, seluruh timbunan pilihan harus memiliki CBR paling sedikit 10 %, bila diuji sesuai dengan AASHTO T-193.

2.3. Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Sifat mekanis tanah menurut Braja (1995) adalah perilaku atau sifat tanah yang merupakan respon tanah terhadap tegangan dan regangan yang dialami tanah dalam keadaan yang paling ideal.

Untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis tanah, ada beberapa ketentuan yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya sebagai berikut :

- a. *Compaction Test* (ASTM D 698-12)
- b. *California Bearing Ratio* (ASTM D 1882-21)
- c. *Unconfined Compressive Strength* (ASTM D 2166)
- d. *Direct Shear Test* (ASTM D 3080-11)
- e. *Consolidation* (ASTM D 4186)
- f. *Triaxial Compression Test* (ASTM D 4767-11)

2.3.1 Pemadatan (ASTM D 698-12)

Pemadatan tanah merupakan suatu proses mekanis dimana udara dalam pori tanah dikeluarkan. Proses tersebut dilakukan pada tanah yang digunakan sebagai bahan timbunan dengan tujuan sebagai berikut ini.

- a. Mempertinggi kekuatan tanah
- b. Memperkecil pengaruh air pada tanah
- c. Memperkecil *compressibility* dan daya rembes airnya
- d. Kepadatan tanah itu mulai dari berat isi kering tanah (*dry density*) dan tergantung pada kadar air tanahnya (*water content*). Pada derajat
- e. Kepadatan tinggi
- f. Berat isi maksimum
- g. Kadar air tanah (*w*) optimum
- h. Angka pori (*e*) minimum

Tujuan tersebut dapat tercapai dengan pemilihan tanah bahan timbunan, cara pemadatan, pemilihan mesin pemadat dan jumlah lintasan yang sesuai. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d).

Tanah granuler dipandang paling mudah penanganannya untuk pekerjaan lapangan. Material ini mampu memberikan kuat geser yang tinggi dengan sedikit perubahan volume sesudah dipadatkan. Permeabilitas tanah granuler yang tinggi dapat menguntungkan maupun merugikan.

Tanah lanau yang dipadatkan umumnya akan stabil dan mampu memberikan kuat geser yang cukup dan sedikit kecenderungan perubahan volume. Tapi, tanah lanau sangat sulit dipadatkan bila keadaan basah karena permeabilitas rendah.

Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan dapat memberikan kuat geser tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang-susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Sebagai contoh, lempung montmorillonite akan mempunyai kecenderungan yang lebih besar terhadap perubahan volume disbanding dengan lempung kaolinite. Lempung padat mempunyai permeabilitas yang rendah dan tanah ini tidak dapat dipadatkan dengan baik pada waktu sangat basah (jenuh). Bekerja dengan tanah lempung yang sangat basah akan mengalami banyak kesulitan.

Peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis disebut pemadatan. Oleh akibat beban dinamis, butir-butir tanah merapat satu sama lain sebagai akibat berkurangnya rongga udara. Ada perbedaan yang mendasar antara peristiwa pemadatan dan peristiwa konsolidasi tanah. Konsolidasi adalah pengurangan pelan-pelan volume pori yang berakibat bertambahnya berat volume kering akibat beban statis yang bekerja dalam periode tertentu. Sebagai contoh, pengurangan volume pori tanah jenuh air akibat berat tanah timbunan atau karena beban struktur di atasnya. Dalam tanah kohesif yang jenuh, proses konsolidasi akan diikuti oleh pengurangan volume tanahnya. Pada pemadatan dengan dinamis, proses bertambahnya berat volume kering tanah sebagai akibat pemadatan partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan volume air tetap tidak berubah. Saat air ditambahkan pada pemadatan, air ini melunakkan partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tanah menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat.

Pada awal pemadatan berat volume kering bertambah ketika kadar air bertambah. Pada kadar air nol ($w = 0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume tanah kering (γ_d), atau

$$\gamma_b (w = 0) = \gamma_d = \gamma_1 \quad (2.4)$$

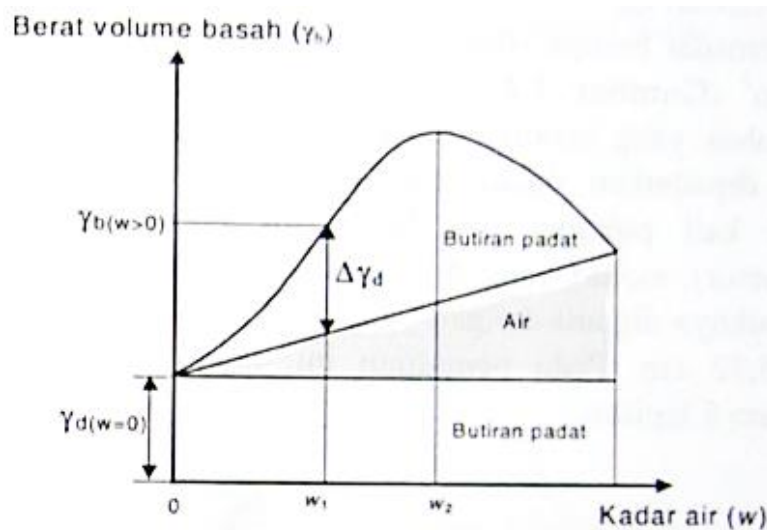
Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah dan usaha pemadatan yang sama digunakan pada saat pemadatan, berat butiran tanah per volume satuan juga bertambah. Misalnya, pada saat kadar air sama dengan w_1 , maka berat volume basah (γ_b) menjadi:

$$\gamma_b = \gamma_2 \quad (2.5)$$

Berat volume kering (γ_d) pada kadar air tersebut:

$$\gamma_d (w = w_1) = \gamma_d (w = 0) + \Delta\gamma_d \quad (2.6)$$

Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu $w = w_2$ (saat kadar air optimum) kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmak}) disebut kadar air optimum (w_{opt}).



Gambar 2.1 Prinsip-prinsip Pemadatan

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan maka umumnya dilakukan uji pemadatan.

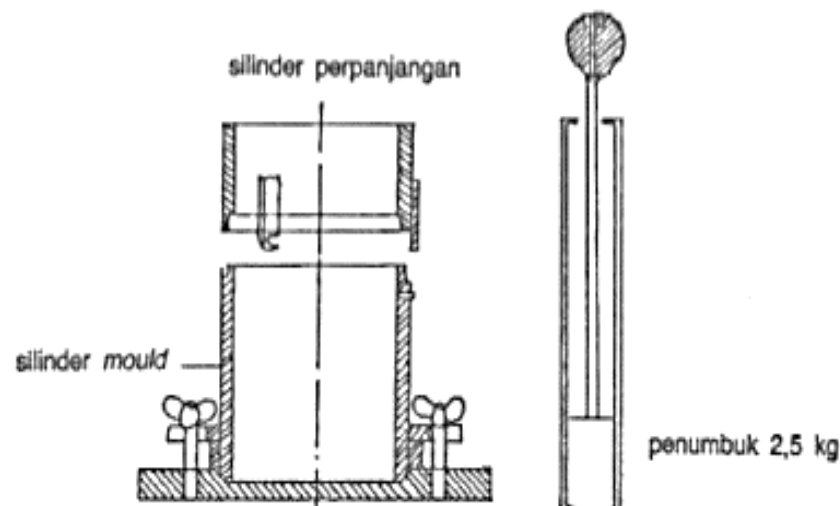
Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \quad (2.7)$$

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*. Ada dua macam pemadatan laboratorium yang biasa digunakan untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum yaitu sebagai berikut:

a. Pemadatan *Standard*

Dalam percobaan ini, tanah dipadatkan dalam *mould* yang volumenya $1/30 \text{ ft}^3$ dengan memakai alat penumbuk seberat 5,5 lbs atau 2,5 kg yang dijatuhkan setinggi 30,5 cm (1 ft), tanah dipadatkan 3 (tiga) lapisan dengan masing-masing lapisan 25 kali tumbukan.



Gambar 2.2 Alat Uji Pemadatan *Standard*

Sumber : SNI 1742-2008

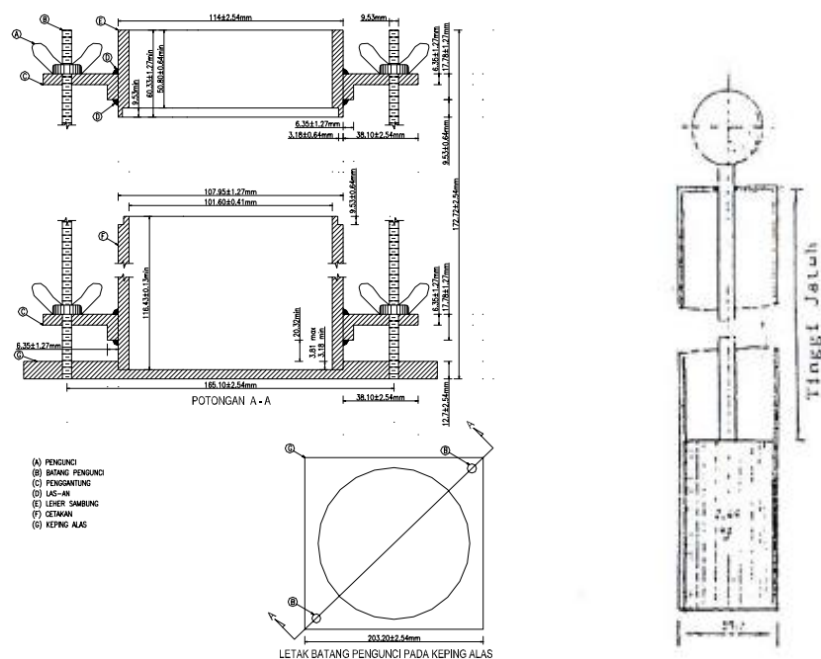
Tabel 2.2 Spesifikasi percobaan Pemadatan *Standard*

Deskripsi	Ukuran	ASTM D-698		AASHTO T-99	
		Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
<i>Tabung</i>					
Isi	ft ³	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
	cm ³	943,90	2124,30	943,90	2124,30
Tinggi	in	4,58	4,58	4,58	4,58
	mm	116,33	116,33	116,33	116,33
Diameter	in	4	6	4	6
	mm	101,60	152,40	101,60	152,40
Berat palu	lb	5,5	5,5	5,5	5,5
	kg	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi jatuh palu	in	12	12	12	12
	mm	304,80	304,80	304,80	304,80
Jumlah lapis tanah		3	3	3	3
Jumlah pukulan / lapis		25	56	25	56
Tanah yang dicoba lolos / lewat ayakan		No.4	No.4	3/4 inch	3/4 inch

Sumber: G. Djatmiko Soedarmo dan S. J. Edy Purnomo, *Mekanika Tanah 1*, 1993

b. Pemadatan *Modified*

Pada pemadatan *modified*, *mould* yang digunakan masih tetap sama dengan pemadatan *standard*, hanya berat alat penumbuknya yang berbeda yaitu 10 lbs atau 4,5 kg. Pada pengujian ini, tanah di dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan.



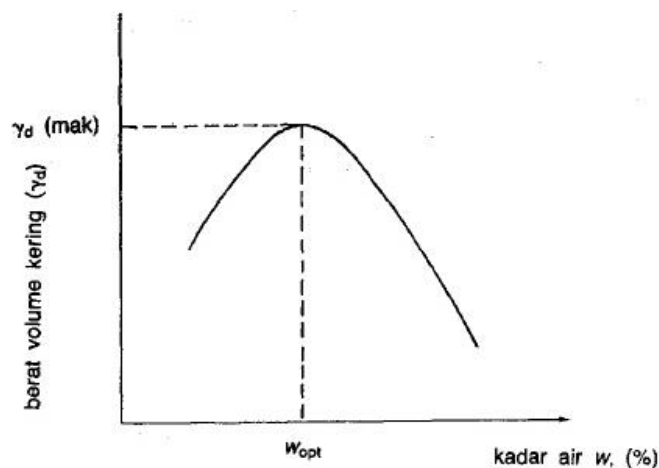
Gambar 2.5 Alat Uii Pemadatan *Modified*
Sumber : SNI 1743-2008

Tabel 2.3 Spesifikasi Percobaan Pemadatan *Modified*

Deskripsi	Ukuran	ASTM D-698		AASHTO T-99	
		Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
Tabung					
Isi	ft ³	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
	cm ³	943,90	2124,30	943,90	2124,30
Tinggi	in	4,58	4,58	4,58	4,58
	mm	116,33	116,33	116,33	116,33
Diameter	in	4	6	4	6
	mm	101,60	152,40	101,60	152,40
Berat palu	lb	5,5	5,5	5,5	5,5
	kg	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh palu	in	18	18	18	18
	mm	457,20	457,20	457,20	457,20
Jumlah lapis tanah		3	3	3	3
Jumlah pukulan / lapis		25	56	25	56
Tanah yang dicoba lolos / lewat ayakan		No.4	No.4	3/4 inch	3/4 inch

Sumber: G. Djatmiko Soedarmo dan S. J. Edy Purnomo, *Mekanika Tanah* 1, 1993

Dalam uji kepadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya (lihat gambar 2.5). 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 dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi dalam praktek, kondisi ini sulit dicapai (Hardiyatmo, H. C. 1992.).



Gambar 2.6 Hubungan Kerapatan Kering terhadap Kadar Air

2.3.2 *California Bearing Ratio* (ASTM D 1882-21)

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) adalah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Departement*. Pada dasarnya pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan.

Kekuatan tanah diuji dengan uji CBR sesuai dengan SNI-1744-2012. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya.

Pengujian CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0,1 inch dan penetrasi sebesar 0,2 inch dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan sesuai dengan SNI 03-1744-2012 kemudian diambil hasil terbesar.

Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 $inch^2$ dengan kecepatan 0,05 $inch$ per menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan *standard* tertentu. Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Untuk menentukan kekuatan lapisan tanah dasar dengan cara percobaan CBR diperoleh nilai yang kemudian dipakai untuk menentukan tebal perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang nilai CBR nya tertentu. Dalam menguji nilai CBR tanah dapat dilakukan di laboratorium. Tanah dasar (*Subgrade*) pada konstruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% dari kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tersebut tanah dipadatkan. CBR ini disebut CBR rencana titik dan karena disiapkan di laboratorium, disebut CBR laboratorium. Semakin tinggi nilai CBR tanah (*subgrade*) maka lapisan perkerasan di atasnya akan semakin tipis dan semakin kecil nilai CBR (daya dukung tanah rendah), maka akan semakin tebal lapisan perkerasan di atasnya sesuai beban yang akan dipikulnya. Ada dua macam pengukuran CBR yaitu:

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1") terhadap penetrasi *standard* besarnya 70,37 kg/cm^2 (1000 psi).

$$\text{Nilai CBR} = (PI/70,37) \times 100 \% \text{ (PI, dalam } kg / cm^2 \text{)}. \quad (2.8)$$

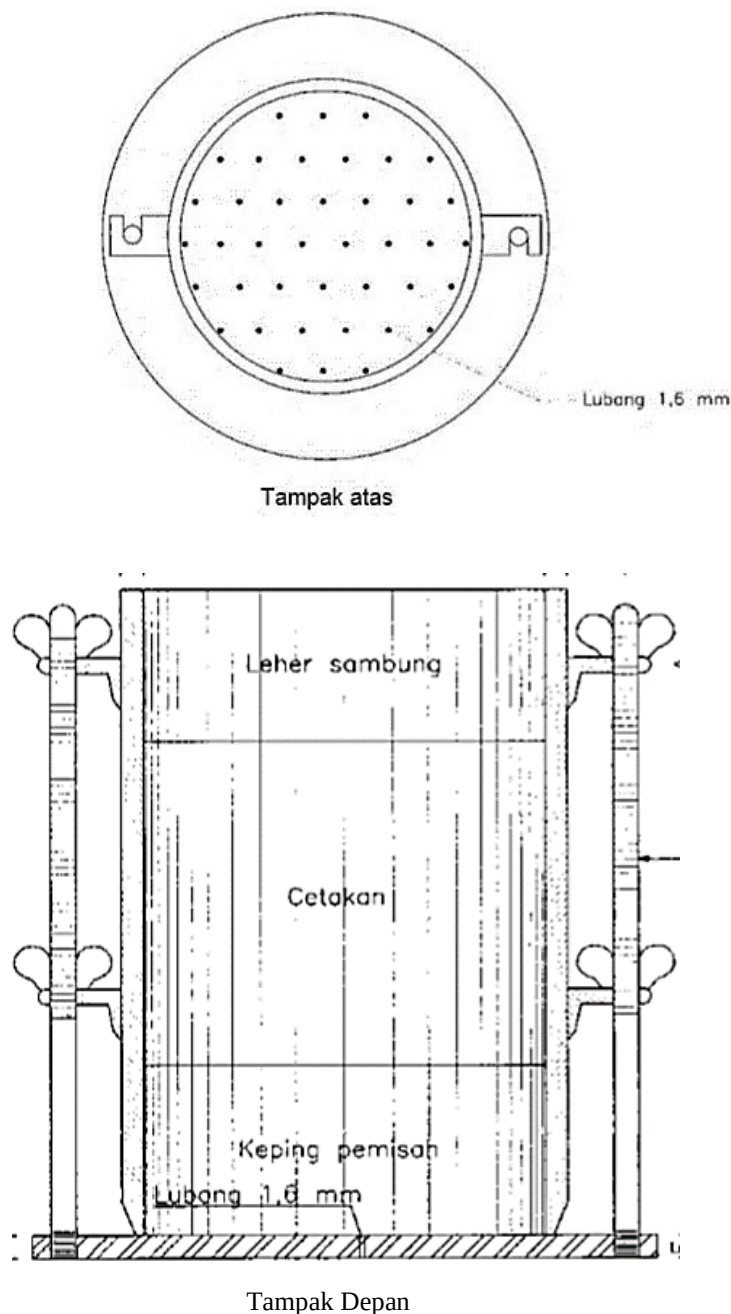
2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi *standard* yang besarnya 105,56 kg/cm^2 (1500 psi)

$$\text{Nilai CBR} = (PI/105,56) \times 100 \% \text{ (PI, dalam } kg / cm^2 \text{)}. \quad (2.9)$$

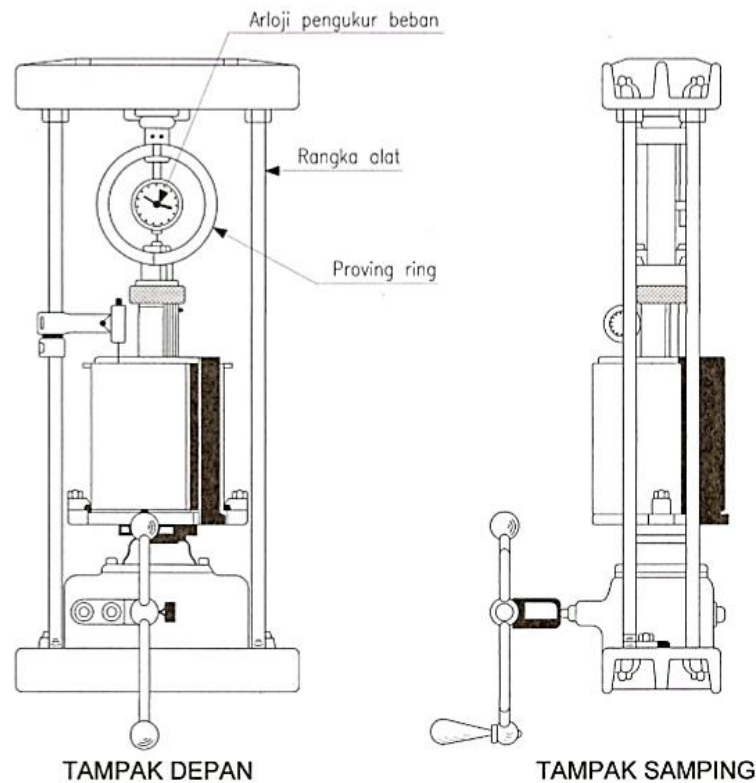
Dari kedua hitungan tersebut digunakan nilai terbesar. CBR laboratorium dapat dibedakan atas dua macam yaitu:

- a. CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*)
- b. CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design CBR*)

Pada pengujian CBR laboratorium rendaman pelaksanaannya lebih sulit karena membutuhkan waktu dan biaya relatif lebih besar dibandingkan CBR laboratorium tanpa rendaman. Sedangkan dari hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan dengan CBR laboratorium rendaman.



Gambar 2.7 Cetakan CBR Dengan Leher Sambung
Sumber : SNI 1744-2012

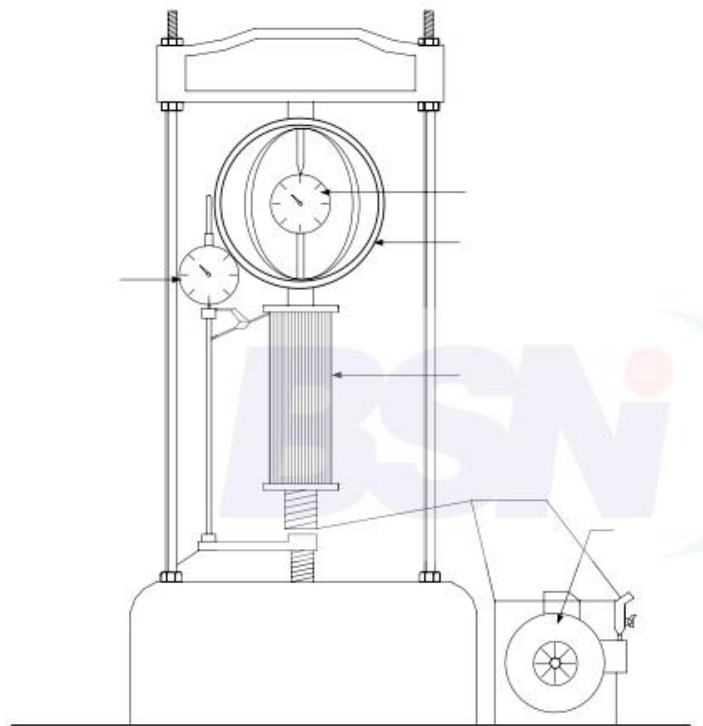


Gambar 2.8 Alat Uji Penetrasi CBR Laboratorium

Sumber : SNI 1744-2012

2.3.3 *Unconfined Compressive Strength* (ASTM-D 2166)

Unconfined Compressive Strength (UCS) adalah metode pengujian yang dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan bebas tanah yang memiliki kohesi, baik tanah tidak terganggu (*undisturbed*), dicetak ulang (*remoulded*) maupun contoh tanah yang dipadatkan (*compacted*) selanjutnya dibebani beban aksial. Umumnya uji *Unconfined Compressive Strength* ini dimaksudkan untuk mendapatkan dengan cepat kuat tekan bebas tanah berkohesi sehingga dapat dilakukan pengujian tanpa tahanan keliling.



Gambar 2.9 Alat Uji Penetrasi *Unconfined Compressive Strength*
 Sumber : SNI 6887-2012

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan Bebas

Sifat Tanah	<i>Unconfined Compressive Strength</i> (kg/cm ²)
<i>Very Soft</i>	< 0,25
<i>Soft</i>	0,25 - 0,50
<i>Firm / Medium</i>	0,50 - 1,00
<i>Stiff</i>	1,00 - 2,00
<i>Very Stiff</i>	2,00 - 4,00
<i>Hard</i>	> 4,00

Sumber : Das, 1995

Adapun perhitungan yang akan dilakukan dalam pengujian *Unconfined Compressive Strength* adalah sebagai berikut

1. Menghitung regangan aksial (ε_1)

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (2.10)$$

Keterangan:

ε_1 = regangan aksial (mm)

ΔH = perubahan tinggi benda uji (mm)

H_0 = tinggi benda uji semula (mm)

2. Menghitung luas terkoreksi (A_c)

$$A_c = \frac{A_0 \times 10^{-6}}{(1 - \varepsilon_1)} \quad (2.11)$$

Keterangan:

A_c = luas penampang rata-rata atau luas terkoreksi (m^2)

A_0 = luas penampang rata-rata benda uji semula (mm^2)

ε_1 = regangan aksial, dinyatakan dalam desimal

3. Menghitung Tegangan (σ_c)

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c} \quad (2.12)$$

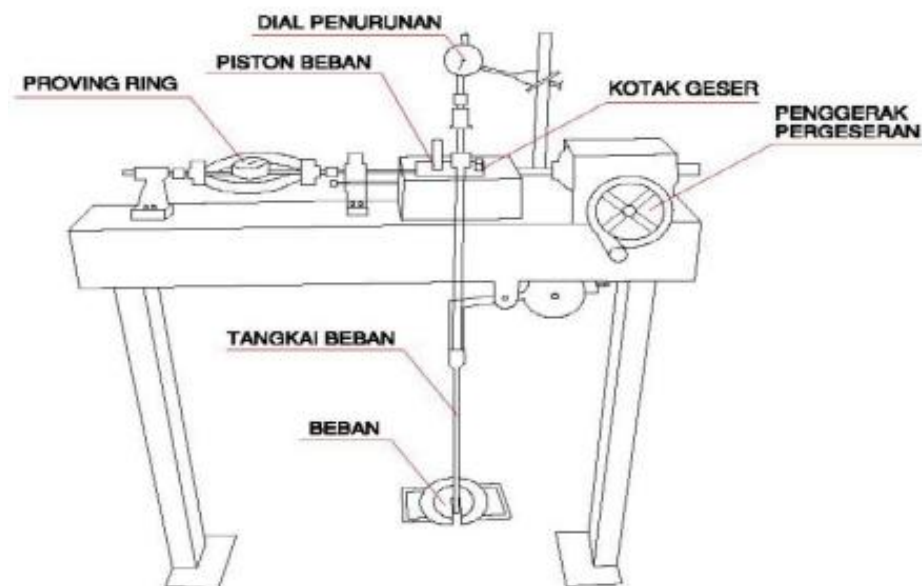
Keterangan:

σ_c = tegangan (kN/m^2)

P = beban yang diberikan (kN)

A_c = luas penampang rata-rata atau luas terkoreksi (m^2)

2.3.4 Direct Shear Strength (ASTM D 3080-11)



Gambar 2.10 Alat Uji *Direct Shear Strength*
Sumber: SNI 3420:2016

Direct Shear Strength atau Geser langsung dapat didefinisikan apabila suatu tanah memiliki kekuatan geser tergantung kepada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir tanah. Nilai kekuatan geser tanah ini

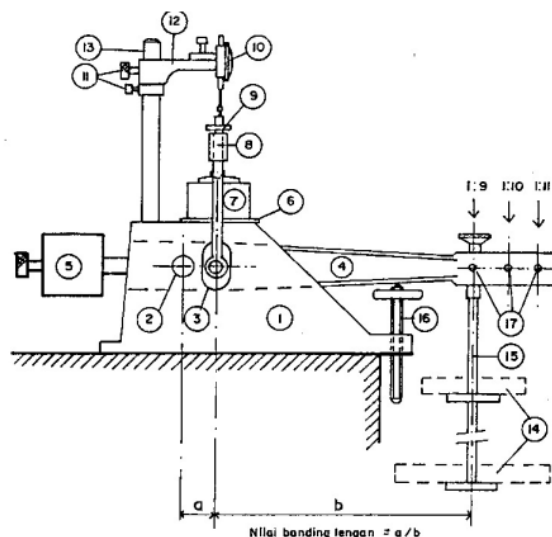
berubah-ubah sesuai dengan kondisi tanah. Nilai ini sendiri digunakan untuk menghitung daya dukung tanah, tekanan tanah terhadap dinding penahan dan kestabilan lereng.

Percobaan geser langsung ini bertujuan untuk menentukan kohesi (c) dan sudut geser tanah (ϕ) dengan metode pengukuran parameter kuat geser tanah melalui uji geser langsung tidak terkonsolidasi dan tidak teralirkan (*Unconsolidated Undrained, UU*).

Keterbatasan hasil uji geser langsung tidak dapat mengukur tekanan air pori yang timbul saat pergeseran dan tidak dapat mengontrol tegangan yang terjadi di sekeliling contoh tanah. Di samping itu, keterbatasan uji geser langsung yang lain adalah karena bidang runtuh tanah ditentukan, meskipun belum tentu merupakan bidang terlemah.

2.3.5 Consolidation (ASTM D 4186)

Deformasi elastis adalah pemampatan tanah yang terjadi dimana tanah akan kembali ke bentuk semula jika beban yang bekerja pada tanah diiadakan. Dalam mencapai deformasi yang tetap diperlukan waktu yang cukup lama. Gejala ini disebut dengan konsolidasi. Konsolidasi mengakibatkan perubahan isi serta keluarnya air pori (angka pori mengecil), perubahan susunan butir tanah.



Gambar 2.10 Alat Uji Consolidation
Sumber: SNI 2812:2011

Secara keseluruhan konsolidasi terdiri dari dua bagian yaitu :

1. *Primary Consolidation*

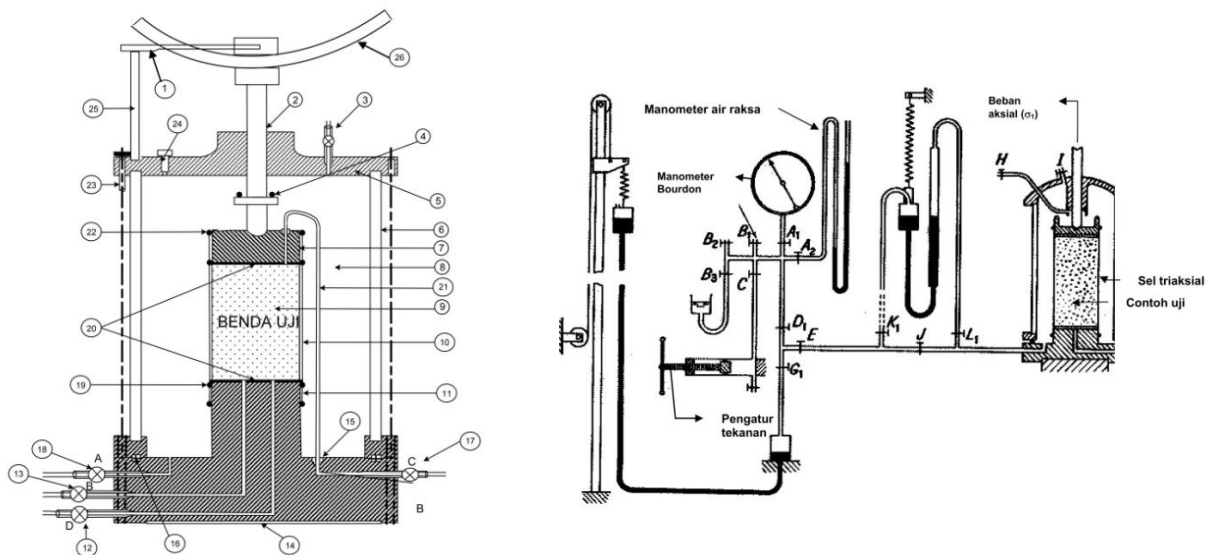
Penurunan yang terjadi karena air yang keluar dari dalam pori.

2. *Secondary Consolidation*

Penurunan yang terjadi karena adanya penyesuaian diri antar butiran tanah, dan langsung dalam waktu yang lama serta nilainya kecil. Penurunan ini berjalan terus setelah *Primary Consolidation* selesai.

Lapisan tanah lempung biasanya terjadi dari proses pengendapan. Selama proses pengendapan, lempung mengalami konsolidasi atau penurunan, akibat tekanan tanah di atasnya. Lapisan tanah yang berada di atas ini, suatu ketika bisa menghilang akibat proses alam. Hal ini berarti tanah lapisan bagian bawah pada suatu saat dalam sejarah geologinya pernah mengalami konsolidasi akibat dari tekanan yang bekerja di waktu sekarang. Tanah semacam ini disebut dalam kondisi *over consolidated (OC)* atau terkonsolidasi berlebihan. Kondisi lain, bila tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik di dalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya, maka tanah disebut dalam kondisi *normally consolidated (NC)* atau terkonsolidasi normal.

2.3.6 Triaxial Compression Test (ASTM D 4767-11)



Gambar 2.11 Alat Uji Triaxial Compression Test

Sumber: SNI 4813:2015

Pengujian *Triaxial Compression Test* merupakan pengujian kuat geser yang sering digunakan dan cocok untuk semua jenis tanah. Keuntungannya adalah bahwa kondisi pengaliran dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur dan bila diperlukan, tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dapat dibuat terkonsolidasi.

Tegangan geser triaksial adalah salah satu metode yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter kuat geser. Digunakan secara luas untuk penelitian dan pengujian konvensional. Spesimen tanah pada pengujian ini dengan diameter 35 mm dan panjang umumnya digunakan 70 mm terbungkus membran karet tipis dan ditempatkan didalam ruang silinder plastik yang biasanya diisi air. Spesimen dikenakan tekanan keliling oleh kompresi cairan dalam ruang menyebabkan kegagalan geser dalam spesimen dan juga menerapkan tegangan aksial melalui ram beban vertikal (*deviator stress*).

Tegangan ini dapat diterapkan di salah satu dari cara berikut ini.

1. Tekanan hidrolik dengan penambahan yang sama sampai spesimen gagal (deformasi aksial dari spesimen yang dihasilkan dari beban diterapkan melalui ram diukur dial).
2. Aplikasi deformasi aksial dengan laju yang konstan dengan cara diarahkan atau hidrolik memuat tekan

Pengujian ini merupakan pengujian sampel tanah dengan tiga dimensi tekanan. Pada pengujian ini disamping dapat diketahui tegangan geser (τ) juga diperoleh tegangan normal (σ). Kegunaan dari pengujian adalah untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dari suatu sampel tanah, serta sifat-sifat elastic tanah seperti modulus tegangan-regangan (modulus elastis, (E_s), modulus geser (G), dan nilai banding (angka) *poisson* (μ). Pengukuran kekuatan geser dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal pada sampel, dari proving ring dapat diketahui tekanan vertikal maksimum, yaitu pada waktu terjadi *failure*.

2.4. Kapur



Gambar 2.12 Kapur

Kapur atau gamping atau disebut *limestone* adalah batuan sedimen yang terdiri dari mineral kalsit dan argonit yang merupakan dua varian berbeda dari CaCO_3 (kalsium karbonat). Kapur terbentuk di laut dengan kondisi bebatuan yang mengandung *coccoliths* yang biasa berbentuk lempengan pelat kalsium yang terbentuk oleh suatu mikroorganisme.

Stabilisasi menggunakan tanah kapur ialah suatu cara atau usaha untuk memperbaiki sifat fisik tanah serta memudahkan dalam melakukan pekerjaan dan memberikan ketahanan terhadap pengaruh cuaca pada saat bekerja dengan cara mencampurkan kapur pada tanah.

Berdasarkan SNI 03-4147-1996, jenis-jenis kapur terbagi menjadi 4 macam :

1. Kapur tipe I yaitu kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi dengan kadar magnesium oksida (MgO) paling tinggi 4 %
2. Kapur tipe II yaitu kapur magnesium atau *dolomite* yang mengandung magnesium oksida lebih dari 4 % dan maksimum 36 % berat
3. Kapur tohor (CaO), yaitu kapur yang terbentuk dari hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 900^\circ \text{F}$ dengan komposisi sebagian besar kalsium karbonat (CaCO_3)
4. Kapur padam, yaitu kapur dari hasil pepadaman kapur tohor dengan air sehingga terbentuk hidrat Ca(OH)_2

Berdasarkan Darwis (2017) yang diambil dari buku dasar-dasar teknik perbaikan tanah, perbaikan tanah dengan bahan kapur (*soil lime*) memiliki sasaran utama sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan kohesi tanah (c).
2. Sudut geser dalam tanah (ϕ)
3. Berat volume tanah (γ)
4. Memperkecil tekanan pori tanah (e) karena akan memperkecil angka porositas dalam massa tanah.
5. Peningkatan parameter – parameter tersebut, memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan daya dukung (q_u) dan kuat geser tanah.

Untuk mendapatkan akurasi dan efektifitas di dalam penerapan suatu metode perbaikan tanah, beberapa hal yang harus di pahami dengan baik, antara lain prinsip teknis dari jenis perbaikan tanah yang akan diterapkan, sifat-sifat bahan stabilisasi, kriteria tanah yang cocok dengan bahan stabilisasi, mekanisme reaksi antara tanah dengan bahan stabilisasi, dan perubahan properti tanah yang terjadi dan relevansinya dengan syarat teknis yang ingin dicapai. Akan tetapi penambahan kapur yang berlebihan juga dapat membuat kondisi tanah menjadi mengembang sehingga diperlukan kadar kapur yang sesuai untuk dilakukan stabilisasi dengan macam tanah yang sesuai

Perbaikan tanah dengan kapur perlu diikuti dengan pemadatan. Oleh karena itu tanah yang diperbaiki dengan bahan kapur, akan mempermudah pekerjaan pemadatan tanah, karena kapur akan mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah, serta membuat struktur partikel tanah lempung menjadi rapuh (*fragile*), sehingga mudah untuk dipadatkan. Namun, konsekuensi negative dari perbaikan tanah dengan kapur adalah menurunkan nilai kepadatan maksimum dari massa tanah.

Tabel 2. 5 Kadar Kapur yang Disarankan Ingles dan Metcalf (1972)

Macam Tanah	Kadar Kapur Untuk "Modifikasi"	Kadar Kapur Untuk "Stabilitas"
Batu pecah halus*	2 - 4%	Tidak dianjurkan
Kerikil berlempung gradasi baik	1 - 3%	Sampai 3%
Pasir **	Tidak Dianjurkan	Tidak Dianjurkan
Lempung berpasir	Tidak Dianjurkan	Sampai 5%
Lempung berlanau	1 - 3%	2 - 4%
Lempung gemuk (<i>heavy clay</i>)	1 - 3%	3 - 8%
Lempung sangat gemuk (<i>very heavy clay</i>)	1 - 3%	3 - 8%
Tanah Organik	Tidak Dianjurkan	Tidak Dianjurkan
* Kapur terhidrasi Ca(OH)_2 , persen terhadap berat kering. - Kapur hanya efektif, jika butiran halus tanahnya plastis -- Kapur digunakan dalam stabilisasi bitumen untuk menambahkan kohesi : kapur tohor dalam material <i>loess</i>		

Sumber : H.C.Hardiyatmo, *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, 2013

2.5. Limbah Spent Bleaching Earth

**Gambar 2.13** *Spent Bleaching Earth*

Spent Bleaching Earth merupakan salah satu dari limbah padat yang dihasilkan dari pemurnian minyak pada industri minyak nabati. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 10 Tahun 2020 Tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, *Spent Bleaching Earth* adalah bahan limbah dari pengolahan CPO, yang dikategorikan sebagai limbah B3.

ASTM C-618 mendefinisikan bahan yang bersifat *pozzolan* sebagai *a siliceous or siliceous and aluminous material which, in itself, possesses little or no cementitious value but which will, in finely divided form in the presence of moisture, react chemically with calcium hydroxide at ordinary temperature to form compounds possessing cementitious properties.*

Dengan demikian pengertian *Spent Bleaching Earth* sebagai bahan *pozzolanic*, adalah:

- Bahan yang mengandung senyawa silika atau silika + alumina.
- Secara independen sangat sedikit atau tidak mempunyai kemampuan mengikat (*non-cementitious*).
- Dalam bentuk yang sangat halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (dengan kelembaban yang cukup dan dalam suhu ruangan) untuk membentuk suatu bahan yang mempunyai sifat mengikat (*cementitious*).

Spent Bleaching Earth terdiri atas senyawa *silicate glass* yang mengandung silika (Si), alumina (Al), ferrum (Fe), dan kalsium (Ca). Kandungan kecil senyawa lain yang terdapat dalam *Spent Bleaching Earth* adalah magnesium (Mg), sulfur (S), sodium (Na), potassium (K), dan mangan (Mn).

Tabel 2. 6 Hasil Pengujian XRF Spent Bleaching Earth

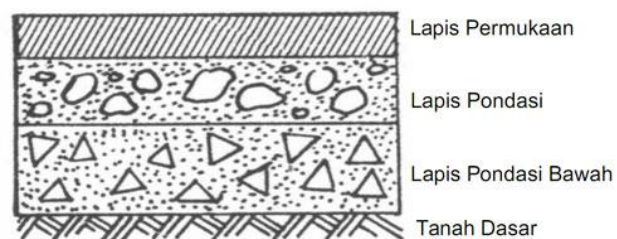
<i>Element</i>			<i>Oxides</i>		
<i>Compound</i>	<i>Conc</i>	<i>Unit</i>	<i>Compound</i>	<i>Conc</i>	<i>Unit</i>
Mg	0,65	%	MgO	0,72	%
Al	8,29	%	Al₂O₃	9,92	%
Si	46,71	%	SiO₂	58,61	%
P	5,79	%	P₂O₅	6,72	%
S	1,25	%	SO₃	1,54	%
K	4,38	%	K₂O	2,52	%
Ca	9,29	%	CaO	5,98	%
Ti	2,24	%	TiO	1,62	%
V	506,1	ppm	V₂O₅	377,3	ppm
Cr	193,3	ppm	Cr₂O₃	122	ppm
Mn	0,38	%	MnO	0,21	%
Fe	20,13	%	Fe₂O₃	11,71	%
Cu	252,9	ppm	CuO	116,4	ppm
Zn	821,5	ppm	ZnO	376,2	ppm
Ga	110,3	ppm	Ga₂O₃	54,5	ppm
Rb	566,2	ppm	Rb₂O	225,2	ppm
Sr	0,209	ppm	SrO	898,2	ppm
Y	177,9	%	Y₂O₃	82	%
Zr	0,141	ppm	ZrO₃	691,4	ppm

Sumber : Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) di Lampung, 2019

2.6. Lapis Fondasi (Base Course)

Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan pada sarana transportasi, dan selama masa-masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat pengadaan dan pengelolaan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman,2003).

Menurut AASHTO dan Bina Marga Konstruksi jalan terdiri atas :

**Gambar 2.3** Susunan Lapisan Perkerasan Jalan

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Lapis fondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis fondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis fondasi bawah). Fungsi lapis pondasi antara lain:

1. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
2. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis fondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan pengujian untuk mengetahui daya dukung bahan tersebut sesuai spesifikasi yang berlaku.

Bermacam-macam bahan alam / bahan setempat ($\text{CBR} > 50\%$, $\text{PI} < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis fondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

Adapun sifat untuk lapisan fondasi jalan adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Sifat-Sifat Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Sifat - sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 – 40 %	0 – 40 %	0 – 40 %	0 – 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan nomor 4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indeks Plastisitas dengan % Lolos Ayakan nomor 200	Maks. 25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mdah Pecah (SNI 4141:2015)	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%
CBR Rendaman (SNI 1744:2012)	Min. 90%	Min. 60%	Min. 50%	-
Perbandingan Persen Lolos Aykan nomor 200 dan nomor 40	Maks. 2/3	Maks. 2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	-	-	-	>3,5

(Sumber : Spesifikasi Bina Marga untuk Jalan dan Jembatan tahun 2018 rev.2)

Dan apapun persyaratan gradasi untuk lapisan fondasi badan jalan sebagai berikut :

Tabel 2. 8 Gradasi Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Ukuran Ayakan		Persen Berat yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1 ½"	37,5	100	88 - 95	100	100
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19,0				58 - 74
½"	12,5				44 - 60
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No. 4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No. 8	2,36				8 - 16
No. 10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No. 16	1,18				0 - 4
No. 40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No. 200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

(Sumber : Spesifikasi Bina Marga untuk Jalan dan Jembatan tahun 2018 rev.2)

Berdasarkan sifat untuk stabilisasi tanah dasar dan lapis fondasi tanah semen adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 9 Sifat Stabilisasi Tanah Dasar dan Lapis Fondasi Tanah Semen

PENGUJIAN	BATAS-BATAS SIFAT (Setelah Perawatan 7 Hari)			METODE PENGUJIAN
	Minimum	Target	Maksimum	
Stabilisasi Tanah Dasar (<i>Sub-grade Improvement</i>)				
California Bearing Ratio (CBR) %	12	15	-	SNI 1744:2012
Lapis Fondasi Tanah Semen (<i>Soil Cement Base</i>)				
Kuat Tekan Bebas (<i>Unconfined Compressive Strength</i> , UCS) kg/cm ²	20	24	35	SNI 03-6887-2002
Uji Basah dan Kering:				SNI 13-6427-2000
(i) % Kehilangan Berat	-	-	7	
(ii) % Perubahan Volume	-	-	2	

(Sumber : Spesifikasi Bina Marga untuk Jalan dan Jembatan tahun 2018 rev.2)

Tabel 2. 10 Persyaratan UCS Lapis Fondasi Bahu Jalan Tanah Semen

Tabel SKh-1.M.05.3.1) Persyaratan UCS Lapis Fondasi Bahu Jalan Tanah Semen

Pengujian	UCS (umur 7 hari)			Metode Pengujian
	Minimum	Target	Maksimum	
UCS, kg/cm ²	14	18	24	SNI 6887-2012

(Sumber : Spesifikasi Bina Marga untuk Jalan dan Jembatan tahun 2018 rev.2)

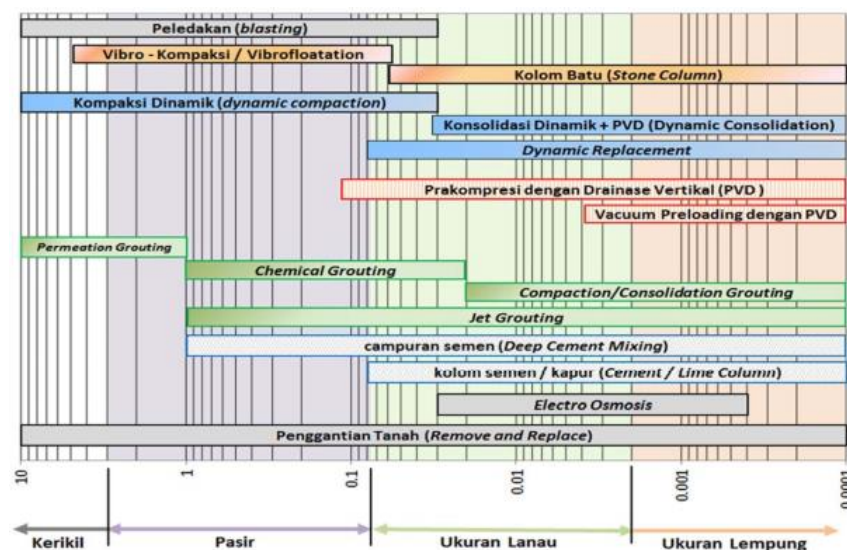
2.7. Stabilisasi Tanah

Dalam pengertian luas, yang dimaksud stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula, stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan-tambahan buatan pabrik.

Menurut *Bowles*, 1989 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan tanah adalah sebagai berikut:

- Meningkatkan kerapatan tanah.
- Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
- Menambah bahan yang menyebabkan perubahan kimiawi dan fisis tanah
- Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
- Mengganti tanah yang buruk.

Adapun kriteria penentuan jenis perbaikan tanah menurut SNI-8460:2017 dimana perbaikan tanah yang tepat untuk bangunan atau infrastruktur yang akan didirikan dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.10



Gambar 2.4 Jenis-Jenis Metode Perbaikan Tanah

(Sumber: SNI 8460:2017,67)

Dalam menstabilaskan tanah, ada beberapa metode yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Stabilisasi Mekanis

Stabilitas mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan. Prinsip kerja perbaikan tanah secara mekanis adalah dengan energi gilas, tumbukan dan getaran berperan mendorong udara dan air tanah dari rongga/ pori-pori tanah, sekaligus memampatkan rongga menjadi semakin kecil, proses pemampatan tanah juga merubah susunan butir menjadi lebih kompak.

2. Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi tanah secara kimiawi merupakan penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Perbandingan campuran tergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan yang tinggi, maka diperlukan bahan tambah yang harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik. Contoh bahan tambah yang umum digunakan adalah : kapur, semen portland, abu terbang, dan lain-lain.

3. Stabilisasi Menggunakan Geosintetik

Secara bahasa, *Geosynthetics* (geosintetik) berasal dari kata *geo* (bumi), dan *synthetics* (buatan), sehingga geosintetik merupakan material buatan manusia yang digunakan untuk pekerjaan yang berhubungan dengan bumi atau tanah.

Secara istilah, geosintetik merupakan material buatan manusia, terutama polymer (sejenis plastik) yang digunakan dalam pekerjaan-pekerjaan ketekniksipilan yang berhubungan dengan tanah dan batuan.

Beberapa pengertian yang berhubungan dengan geosintetik berdasarkan *International Geosynthetic Society* (IGS) antara lain :

- a. *Geotekstil* ; bahan yang dapat meloloskan air dari anyaman (*woven*) atau tanpa anyaman (*non-woven*) dari benang-benang atau serat-serat sintetik yang digunakan dalam pekerjaan tanah.
- b. *Geogrid* ; *geotekstil* yang berupa lubang-lubang berbentuk segi empat (*geotextile grid*) atau lubang berbentuk jaring (*geotextile net*, biasanya terbuat dari bahan *Polyester* (PET) atau *High Density Polyethylene* (HDPE).
- c. *Geocomposite* ; kombinasi dua atau lebih tipe geosintetik
- d. *Geomembrane* ; geosintetik yang bersifat *impermeable* atau tidak tembus air, biasanya dibuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE).
- e. *Geocell* ; geosintetik berbentuk sel-sel sebagai bahan penahan erosi atau perkuatan, terbuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE).
- f. *Geospacer* ; bahan sintesis yang ditempatkan di antara dua bahan sintesis lain biasanya digunakan pada konstruksi drain.

4. Stabilisasi Tanah Secara Hidrolis

Lapusan tanah lunak (kuat dukung rendah) umumnya disebabkan banyaknya kandungan air yang tertahan dalam tanah, secara sederhana upaya perbaikan lapisan tanah dengan cara mengeluarkan air dari pori-pori tanah ini disebut perbaikan tanah secara hidrolis.

Perbaikan tanah secara hidrolis dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Pra Pembebanan (*preloading*)
Pra pembebanan (*preloading*) merupakan suatu metode perbaikan tanah dengan cara memampatkan timbunan pada lokasi yang akan distabilisasi dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat struktur (beban permanen) dimasa yang akan datang. Akibat adanya beban timbunan tersebut. Akibat adanya beban timbunan tersebut maka lapisan tanah dibawahnya akan tertekan sehingga air yang berada di dalam pori-pori tanah akan diperas keluar (terkonsolidasi) lebih cepat. Apabila konsolidasi yang diinginkan telah tercapai sebagian atau timbunan *preloading* dapat dibuang.
- b. Drainase vertikal (*vertical drain*) dikombinasikan dengan *preloading*.

- Drainase vertikal dari kolom pasir ; pada tahun 1925, Daniel E.Moran (USA) memperkenalkan pemakaian drainase vertikal dari kolom-kolom pasir untuk mempercepat proses konsolidasi tanah pada kedalaman yang besar. Tipe drainase vertikal ini selanjutnya dikenal dengan *sand drain*.
- Drainase vertikal dengan bahan sistetis (Wick darin) ; pada tahun 1936, Kjellman (Swedia) memperkenalkan sistem vertikal drain dengan bahan sistetis. Bahan sistetis yang dipilih karena dibandingkan dengan bahan lain, bahan ini lebih cepat mengalirkan air (*drain*) dari dalam tanah lunak menuju permukaan tanah sehingga proses konsolidasi berlangsung lebih singkat. Perbaikan tanah secara hidrolis lebih efektif dengan mengkombinasikan antara *preloading* dengan *vertical drain*.

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan-tambah (*additive*) ke dalam tanah. Dalam perancangan perkerasan jalan, kualitas setiap lapisan pembentuk perkerasan harus memenuhi syarat tertentu. Setiap komponen lapisan perkerasan harus mampu menahan geseran, lendutan berlebihan yang menyebabkan retaknya lapisan di atasnya dan mencegah deformasi permanen yang berlebuhan akibat memadatnya material penyusun.

2.8. Stabilisasi Tanah Dengan *Spent Bleaching Earth*

Stabilisasi tanah adalah usaha yang dilakukan terhadap tanah yang mempunyai suatu sifat teknis yang memiliki nilai rendah menjadi material yang layak digunakan sebagai material konstruksi. Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan mereduksi erosiabilitas.

Spent Bleaching Earth dapat efektif digunakan untuk bahan timbunan atau bahan perkuatan. *Spent Bleaching Earth* mempunyai koefisien keseragaman yang besar, terdiri dari partikel ukuran lanau. Sifat-sifat teknik yang akan mempengaruhi penggunaan *Spent Bleaching Earth* pada timbunan adalah termasuk distribusi butiran, karakteristik pemadatan, *shear strength*, *compressibility* dan *permeability*.

Pelepasan bahan anorganik termasuk *mercury* dan *arsenic* pada stabilisasi tanah dengan *Spent Bleaching Earth* menunjukkan bahwa stabilisasi tanah dengan menggunakan *Spent Bleaching Earth* memberikan jumlah endapan yang paling sedikit dibandingkan dengan stabilisasi tanah dengan menggunakan kapur atau pun tanpa distabilisasi. Stabilisasi tanah dengan penambahan *Spent Bleaching Earth* pernah digunakan digunakan untuk tanah lempung.

2.9. Penelitian Sebelumnya yang Serupa

1. Sumarno.A. dkk. “Pemanfaatan Limbah *Spent Bleaching Earth* pada Stabilisasi Tanah Lempung dengan *Clean Set Cement*”. Proporsi rancangan campuran pada penelitian yang dilakukan yaitu terdiri dari *Spent Bleaching Earth* sebanyak 22,5%, 45%, dan 67,5% serta *Clean Set Cement* sebesar 10% masing-masing terhadap berat kering tanah lempung. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran *Spent Bleaching Earth* dan *Clean Set Cement* mampu meningkatkan nilai CBR terus meningkat dengan nilai CBR berurutan sebesar 3,24%, 5,01%, 5,39%, 8,52%, dan 17,99%.
2. Yudi. A. dkk. “Pemanfaatan Limbah *Spent Bleaching Earth* (SBE) dari Industri Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Anggregat Halus pada Aplikasi Beton”. Proporsi rancangan campuran pada penelitian yang dilakukan yaitu terdiri dari *Spent Bleaching Earth* sebanyak 10%, 20%, dan 30%. Hasilnya menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata *foaming agent* dengan variasi limbah kelapa sawit (SBE) adalah SBE 10% dicapai sebesar 19,96 MPa, SBE 20% dicapai sebesar 15,03 MPa dan SBE 30% dicapai sebesar 12,07 MPa. Pengaruh penambahan *foaming agent* dengan variasi limbah SBE menyebabkan penurunan rata-rata kuat tekan sebesar 21,5667 %, namun hanya pada SBE 10% yang mendekati kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Pengaruh penambahan *foaming agent* dengan variasi limbah SBE menyebabkan penurunan rata-rata berat beton hingga 15,443%. Penambahan *foaming agent* sebesar 0,016 kg pada beton menyebabkan dampak positif berupa beton yang lebih ringan dari beton normal. Namun ada indikasi memberikan penurunan pada nilai kuat tekan beton.
3. Abrar. A. dkk. “Studi Eksperimen Pemanfaatan Limbah *Spent Bleaching Earth* (SBE) Sebagai Bahan Pembuat Bata”. Proporsi rancangan campuran pada

penelitian yang dilakukan yaitu terdiri dari *Spent Bleaching Earth* sebanyak 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65% dan 95%. Hasilnya menunjukkan bahwa Komposisi pemakaian limbah SBE yang hasilnya memenuhi kekuatan standar yang dibutuhkan untuk pasangan dinding pada komposisi 15% dan 25%. Komposisi SBE diatas 25% tidak bisa digunakan sebagai bahan bata untuk dinding bangunan.