

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Tanah

Istilah “tanah” dalam bidang teknik sipil, menurut Soedarmo G.D dan Purnomo S.J.E (1993) mencakup semua bahan dari tanah lempung (*clay*), lanau (*silt*), pasir (*sand*), kerikil (*gravel*) dan batu-batu yang besar berangkal (*boulder*). Sistem klasifikasi merupakan suatu metode untuk menentukan perbedaan serta menunjukkan dengan tepat nama dan sifat masing-masing tanah. Dalam hal ini biasanya sifat-sifat tanah selalu tergantung pada ukuran butir-butirnya sehingga dipakai sebagai titik tolak untuk klasifikasi teknis dari tanah. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat *kohesif* dan plastis. Sedangkan pasir merupakan tanah yang tidak *kohesif* dan tidak plastis.

Fungsi tanah ini sangat penting pada berbagai macam pekerjaan bangunan karena tanah berfungsi sebagai pendukung beban atau pondasi di atasnya. Oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan sebagai pendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

3.1.1. Komposisi Tanah dan Klasifikasi Tanah.

Dari berbagai macam campuran partikel tanah yang ada dipermukaan bumi, terdapat beberapa jenis tanah yang kita ketahui (*Bowles, J, E, 1986*) :

1. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*) atau *pebbles*.
2. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), yaitu partikel batuan yang berukuran 0,075 sampai 2 mm. Dengan gradasi kasar sampai 2 mm, hingga gradasi halus kurang dari 1 mm.
4. Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,074. *Deposit loose* terjadi bila angin mengangkat partikel lanau ke suatu lokasi. Angkutan oleh angin ini dapat membatasi ukuran partikel yang dibawanya sehingga dihasilkan *deposit* lanau yang *homogen*.
5. Lempung (*clay*), yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), yaitu partikel tanah yang dianggap paling kecil yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Apabila dalam suatu *deposit* partikel tanah tersebut terdapat jumlah partikel yang terbanyak, maka *deposit* diberi nama sesuai dengan jumlah partikel yang terbanyak dikandungnya. Misalnya dalam *deposit* tersebut lebih dominan partikel pasir, maka tanah tersebut disebut tanah berjenis pasir. Demikian juga untuk tanah

yang lainnya. Tabel 3.1 menjelaskan tentang jenis tanah beserta ukuran parameter butirannya.

Tabel 3.1 Jenis tanah dan ukuran butirannya menurut AASHTO 1982.

No.	Jenis Tanah	Diameter Butiran (mm)
1.	Tanah Berbutir Kasar.	
	a. Kerikil	76,2 – 2
	b. Pasir	2 – 0,075
2.	Tanah berbutir Halus	
	a. Lanau	0,075 – 0,002
	b. Lempung	< 0,002

Sumber : Das, B, M, 1990.

Dalam banyak masalah teknis, pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun sub kelompok yang menunjukkan sifat atau kekakuan yang sama akan sangat membantu. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*).

Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Semula *System Unified* diusulkan oleh Cassagrande (1942), kemudian direvisi oleh teknisi dari USBR (*Unified State Bureau of Reclamation*).

Sistem Klasifikasi AASHTO.

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) berguna untuk menentukan kualitas tanah pada perencanaan timbunan jalan, *sub base* dan *subgrade*.

Pada sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok yaitu A-1 sampai dengan A-8 termasuk sub-sub kelompok. Pengujian yang dilakukan adalah berdasarkan analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Secara umum klasifikasi ini menganggap tanah sebagai :

1. Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan apabila kelompoknya berada lebih kekanan dalam table 3.2, yaitu tanah A-6 lebih tidak memuaskan jika dibandingkan dengan tanah A-5.
2. Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan apabila indeks kelompok bertambah untuk sub kelompok tanah tertentu, misal tanah A-6 (3) adalah lebih tidak memuaskan daripada tanah A-6 (1).

Tabel 3.2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

(Sumber : Braja M. Das, 1990)

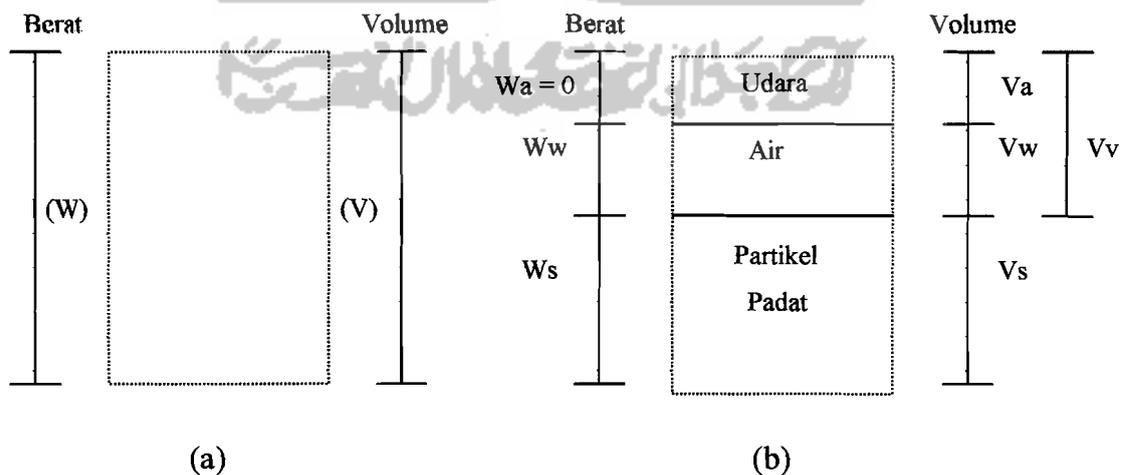
Klasifikasi Umum	Bahan-bahan (35% atau kurang melalui NO. 200)							Bahan-bahan lanau-lempung (Lebih dari 35% melalui No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisis saringan : Persen melalui :											
No. 10	50 maks										
No. 40	30 maks.	50 maks.	51 maks.								
No. 200	15 maks.	25 maks.	10 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Karakteristik fraksi melalui No. 40											
Batas cair :				40 maks.	41 min.	40 maks.	41 maks.	40 maks.	41 min.	40 maks.	41 min.
Indeks plastisitas	6 maks.		N.P	10 maks.	10 maks.	11 min.	10 maks.	10 maks.	10 maks.	11 min.	11 min.
Indeks kelompok	0		0	0			4 maks.	8 maks.	12 maks.	16 maks.	20 maks.
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagai tanah	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

3.1.2. Hubungan Antara Fase Tanah.

Pemeriksaan visual akan memperlihatkan bahwa blok tanah itu terdiri dari :

1. Pori atau ruang kosong (*voids*), yang merupakan ruang-ruang terbuka antara butir-butir tanah, dengan berbagai ukuran.
2. Butir-butir tanah, yang mungkin makroskopis atau mikroskopis dalam ukurannya. Jelas bahwa ukuran-ukuran mikroskopis tidak akan terlihat oleh mata biasa, tetapi bukanlah hal yang tidak mungkin bahwa ia akan terdapat dalam berbagai jumlah.
3. Kelembaban udara, yang akan menyebabkan tanah terlihat basah, lembab ataupun kering. Air di dalam pori atau ruang kosong tadi, atau disebut air pori, mungkin ada dalam kuantitas yang cukup untuk memenuhi ruang kosong itu, atau mungkin hanya mengisi ruang kosong itu sebagian saja.

Bagian-bagian dari tanah itu sendiri dapat kita gambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Fase Tanah

Keterangan :

- Gambar 3.1 a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume (V) dan berat total (W).
- Gambar 3.1 b memperlihatkan hubungan berat dan volumenya.

Dari gambar tersebut dapat diambil persamaan berikut :

$$W = W_s + W_w$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a$$

$$V_v = V_w + V_a$$

Dengan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Berat udara dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang biasa digunakan dalam mekanika tanah adalah angka pori, porositas dan derajat kejenuhan. Adapun hubungan-hubungannya adalah sebagai berikut :

1. Kadar air (*water content*) w , dihitung dengan persamaan 3.1:

Kadar air (w), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

2. Porositas (*porosity*) n , dihitung sesuai dengan persamaan 3.2:

Porositas (n), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Dalam hal ini dapat digunakan dalam bentuk persen maupun desimal.

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots (3.2)$$

3. Angka Pori (*void ratio*) e , dihitung sesuai dengan persamaan 3.3 :

Angka pori (e), didefinisikan sebagai perbandingan volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Biasanya dinyatakan dalam desimal.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (3.3)$$

4. Berat volume tanah basah, γ_b dihitung dengan persamaan 3.4:

Berat volume tanah basah (γ_b), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan $W = W_w + W_s + W_v$

$W_v =$ berat udara (0).

Bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_a = 0$), maka tanah menjadi jenuh.

5. Berat volume tanah kering, γ_d dihitung dengan persamaan 3.5:

Berat volume kering (γ_d), adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total (V) tanah.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots (3.5)$$

6. Berat jenis (*Specific Gravity*) G_s , dihitung dengan persamaan 3.6:

Berat jenis (*Specific Gravity*) tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4°.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dengan : γ_s = berat volume tanah.

γ_w = berat volume air.

3.1.3. Tanah Kohesif dan Tidak Kohesif.

Apabila karakteristik fisik yang selalu terdapat pada masa butir-butir tanah bersatu sesamanya sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering tersebut, maka tanah tersebut disebut *kohesif*. Apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan di dalam air, maka tanah ini disebut *tidak kohesif*.

3.1.4. Batas Konsistensi Tanah (*Batas Atterberg*).

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisnya, dimana plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Batas-batas konsistensi tanah yang dikemukakan oleh A. Atterberg, 1911 didasarkan kepada kadar air, yaitu :

1. Batas Cair/*Liquid Limit (LL)*

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis, dimana untuk nilai-nilai di atasnya tanah akan bersifat sebagai cairan kental (campuran tanah air tanah kuat geser yang dapat diukur).

2. Batas Plastis/*Plastic Limit (PL)*

Batas Plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

3. Batas Susut/*Shrinkage Limit (SL)*

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Batas susut dinyatakan dalam persamaan :

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(V_1 - V_2)\gamma_w}{m_2} \times 100\% \quad (3.7)$$

Dengan :

m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr)

m_2 = berat tanah kering dalam oven (gr)

V_1 = Volume tanah basah dalam cawan (cm^3)

V_2 = Volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = berat jenis air.

4. Batas Lengket (*stickly limit*).

Kadar air di mana suatu tanah kehilangan sifat adhesifnya dan tidak lengket kepada obyek-obyek lainnya seperti jari atau permukaan yang halus dari logam spatula.

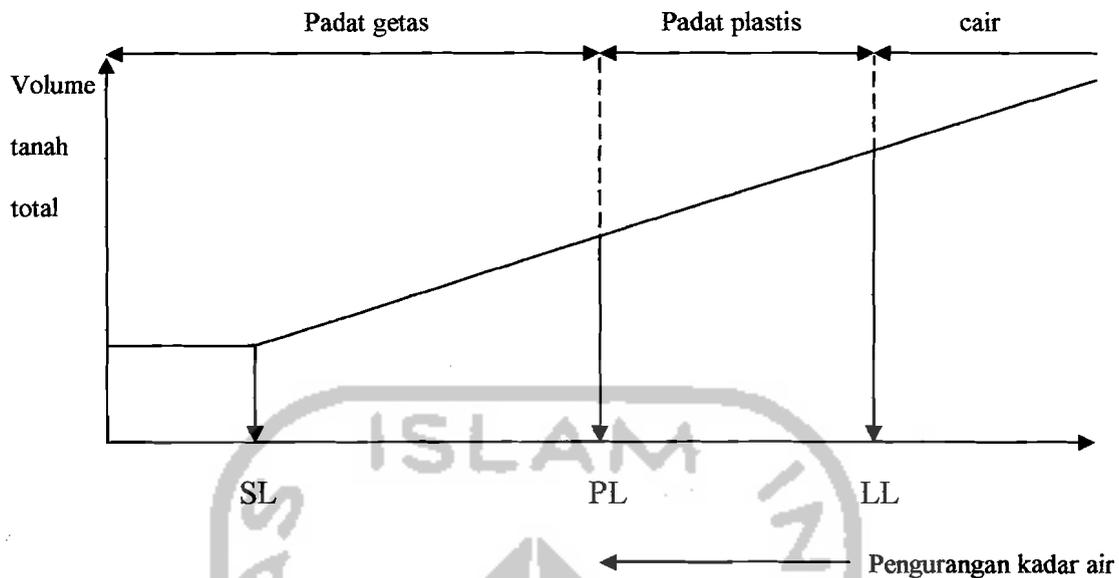
5. Batas kohesi (*cohesion limit*). Kadar air dimana butir-butir tanah tidak dapat bersatu lagi, yaitu di mana pengambilan tanah tidak dapat menghasilkan lempengan-lempengan yang bersatu.
6. Indeks Plastisitas.

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah dan kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam tabel 3.3

Tabel 3.3 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 - 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyanto. H. C, 1992).



Gambar 3.2 Variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susutnya (Sumber: Hardiyanto. H. C, 1992).

3.2. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel yang merupakan ukuran-ukuran *mikroskopik* dan *submikroskopik* yang berasal dari pelapukan kimiawi yang merupakan unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam kadar air sedang sampai luas. Pelapukan tanah akibat reaksi kimia tersebut akan menghasilkan susunan kelompok partikel yang berukuran *koloid* dengan diameter ukuran butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang memiliki lembaran khusus sehingga mempunyai sifat yang sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan (Hardiyanto H.C, 1992).

3.2.1. Sifat Mineral Lempung.

Menurut Bowles J.E (1986), sifat mineral lempung dibedakan menjadi :

1. Hidrasi

Hidrasi adalah dimana partikel lempung dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut "air teradsorpsi". Lapisan tersebut umumnya mempunyai dua molekul yang disebut "lapisan difusi". Air tertarik kelapisan ini dengan cukup kuat dan mengandung ion-ion logam. Difusi "kation teradsorpsi" dari mineral lempung meluas keluar dari permukaan sampai kelapisan air. Pengaruhnya adalah pengadaan muatan netto (+) di dekat mineral dan muatan (-) pada jarak yang lebih jauh.

2. Aktivitas

Di bagian-bagian tepi mineral lempung terdapat muatan negatif netto yang mengakibatkan terjadinya usaha untuk menyeimbangkan muatan ini dengan tarikan kation. Tarikan ini akan sebanding dengan kekurangan muatan-muatan netto dan dapat dihubungkan dengan aktivitas lempung. Aktivitas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara indeks plastis terhadap persentase tanah lempung dimana persentase lempung tersebut diambil sebagai fraksi tanah $< 2 \mu\text{m}$.

3. Flokulasi dan Dispersi

Hampir semua mineral lempung menghasilkan larutan tanah-air yang bersifat alkalin ($\text{pH} > 7$) sebagai akibat muatan negatif netto pada satuan mineral. Akibat adanya muatan ini, ion H^+ di dalam air dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan itu. Beberapa partikel yang tertarik tersebut akan membentuk "flok" yang berorientasi secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar yang

akan mengendap di dalam larutan dengan cepat dan membentuk sedimen yang sangat lepas. *Flokulasi* tanah yang terdispersi dapat dinetralisasikan dengan menambah ion H⁻ yang diperoleh dari bahan yang mengandung asam.

4. Pengaruh Air

Fase air yang berada di dalam tanah lempung sangat menentukan sifat plastis tanah lempung. Massa tanah yang sudah mengering dari suatu kadar air awal mempunyai kekuatan yang cukup besar. Apabila bongkahan tanah tersebut dipecah-pecah menjadi partikel yang kecil-kecil, maka tanah tersebut akan berperilaku menjadi bahan yang tidak *kohesif*. Namun jika ditambahkan air maka bahan tersebut akan menjadi plastis dengan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan bongkahan tanah yang kering.

3.3. Kapur

Kapur (*lime*) termasuk bahan bangunan yang penting. Bahan ini dipakai sejak zaman kuno. Orang-orang Mesir kuno memakai kapur untuk memplester bangunan. Di Indonesia kapur ini juga sudah lama dikenal sebagai bahan ikat dalam pembuatan tembok, pilar dan sebagainya. Untuk bahan bangunan dapat dibagi dalam dua macam berdasarkan penggunaan yaitu kapur pemutih kapur aduk. Kedua macam kapur tersebut dapat berbentuk kapur tohor maupun kapur padam.

Pada tanah yang berlempung, kapur akan segera membentuk struktur tanah menjadi lebih baik, sehingga lebih mudah untuk dipadatkan. Selain itu kapur juga lebih efektif dari semen pada tanah yang berlempung. Pengaruh kapur pada tanah lempung akan mempunyai reaksi yang berbeda pada tanah lempung yang banyak mengandung mineral *montmorillonite* dari *kaolinite*. Pada *montmorillonite*,

plastisitasnya akan segera berkurang dan hal tersebut tidak terjadi pada mineral *kaolinite*.

3.3.1 Pembuatan Kapur

Bahan dasar kapur adalah batu kapur. Batu kapur mengandung *kalsium karbonat* (CaCO_3), dengan pemanasan kira-kira 980° , *karbon dioksida* (CO_2) menguap dan tinggal kapurnya saja (CaO). Susunan maupun sifat fisik bahan dasar yang mengandung kapur ini berbeda dari satu tempat ke tempat lain. Bahkan dalam satu tempatpun belum tentu sama. *Kalsium Oksida* yang diperoleh ini biasa disebut kapur aktif (*Quicklime*).

Kapur dari hasil pembakaran ini bila ditambahkan air akan mengembang dan retak-retak. Banyak panas yang dikeluarkan seperti mendidih selama proses ini dan hasilnya adalah *kalsium hidroksida* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Air yang dipakai selama proses ini secara teoritis diperlukan hanya 32% berat kapur. Tetapi karena faktor-faktor antara lain pembakaran, jenis kapur dan sebagainya kadang-kadang air yang diperlukan sampai 2 atau 3 kali volume kapur. Proses ini disebut dengan istilah kapur mati (*slaked lime*) atau *hydrated lime*.

Bila kalsium hidrat ini kemudian dicampur air akan diperoleh mortel kapur. Mortel ini diudara terbuka menyerap karbon dioksida (CO_2), dan dengan proses kimia menghasilkan CaCO_3 yang bersifat keras dan tidak larut dengan air.

3.3.2. Jenis-jenis Kapur.

Jenis kapur yang dikenal saat ini adalah :

1. Kapur Tohor (*Quick lime*) dengan rumus kimia CaO (*Calcium Oksida*) yang merupakan hasil pembakaran batu alam yang komposisinya sebagian besar adalah *Kalsium Karbonat* (CaCO_3).
2. Kapur Padam (*Slake lime*) dengan rumus kimia Ca(OH)_2 yang merupakan hasil pematangan kapur tohor dengan air sehingga membentuk hidrat.
3. Kapur Udara yaitu kapur padam yang apabila diaduk dengan air setelah beberapa waktu dapat mengeras di udara karena pengikatan Karbon dioksida.
4. Kapur Hidrolis yaitu kapur padam yang apabila diaduk dengan air setelah beberapa waktu akan dapat mengeras baik didalam air atau udara.

3.3.3. Spesifikasi Kapur.

Kapur yang dapat digunakan untuk stabilisasi adalah Kapur Tohor (CaO) dan Kapur Padam Ca(OH)_2 melalui saringan no. 50 dan tidak lebih 15% lolos saringan no. 75. Sedangkan syarat kimiawi adalah ditentukan berdasarkan kadar kalsium dan magnesium oksidanya. Untuk Kapur Tohor *The National Lime Association of the USA* (1995) membatasi minimum 55%. *The California Division of Highway* mensyaratkan minimal 85%. Sedangkan Australia memberi batasan 95%.

3.3.4. Kapur dan Sifat Fisik Tanah.

Perlu diketahui bahwa dengan adanya kehadiran partikel kapur pada massa tanah lempung akan cenderung memperbaiki sifat fisik tanah. Tanah lempung yang memiliki indeks plastisitas tinggi akan berkurang secara proporsional seiring

dengan meningkatnya kadar kapur yang dicampurkan pada lempung sehingga mengakibatkan kadar air akan tereduksi akibat hidrasi kapur.

Selama terjadinya hidrasi ini menunjukkan bahwa kadar air tanah akan berkurang sebesar 32 persen dari berat kering kapur. Jika diketahui kadar air tanah (*Kitsugi dan Anzakami, 1982*). Selain itu pengaruh kapur terhadap nilai uji tekan bebas (UCS) dengan kadar air pematatan dalam 3 variasi yaitu 20 % dibawah kadar air optimum tanah asli, pada kadar air optimum dan 20 % diatas kadar air optimum tanah asli. Hasil dari penelitian adalah adanya peningkatan kekuatan tanah dengan waktu perawatan yang lama dan pada kadar air yang relatif besar, adanya kecenderungan kekuatan tanah yang lebih besar (*Sabry dan Parcher, 1979*)

3.4. Agregat Halus atau Pasir

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 5 mm (*Kusuma Gideon dan W. C. Vis, 1993*).

Umumnya pasir yang digali dari dasar sungai cocok digunakan untuk bahan campuran (beton, *subgrade*, perkerasan). Pasir ini terbentuk ketika batu-batu dibawa arus sungai dari sumber air ke muara sungai. Akibat tergulung dan terkikis (pelapukan/erosi) akhirnya membentuk butir-butir halus.

Arus sungai membawa pecahan, butiran-butiran yang besar (kerikil) diendapkan pada hulu sungai sedangkan yang kecil-kecil di muara sungai. Karena alur sungai sering berpindah tempat sehingga banyak dangkalan pasir dan kerikil terletak di luar jalur sungai seperti sekarang ini.

Ditinjau dari sifat ekonomis dan cara mendapatkannya, pasir dapat digolongkan menjadi 2 macam (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1993) yaitu :

1. Pasir Alam.

Pasir ini terbentuk ketika batu-batu dibawa arus sungai dari sumber air kemuara sungai. Akibat tergulung dan terkikis (pelapukan/erosi) akhirnya membentuk butiran-butiran halus. Pasir alam digolongkan menjadi 3 macam, yaitu :

a. Pasir Galian.

Pasir ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali. Bentuk pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam. Tapi biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan jalan dicuci terlebih dahulu.

b. Pasir Sungai.

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan. Daya lekat antar butiran agak kurang karena bentuk butir yang bulat.

c. Pasir Laut.

Pasir laut adalah pasir yang diambil dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang jelek, karena banyak mengandung garam. Garam-garaman ini menyerap kandungan air dari udara dan mengakibatkan pasir agak selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan. Oleh karena itu pasir laut sebaiknya jangan dipakai.

2. Pasir Buatan.

Pasir buatan adalah pasir yang sengaja dibentuk sedemikian rupa sehingga memenuhi kriteria dan syarat-syarat yang telah ditentukan. Dari cara pembentukannya biasanya pasir buatan ini dapat dibedakan menjadi :

a. Pasir dari pemecahan batu.

Pemecahan dan penggilingan batuan kadang dipakai untuk menghasilkan macam-macam ukuran pasir. Pasir yang dihasilkan umumnya anguler, pasir dihancurkan didalam *rod mill* atau *hammer mil*.

b. Pasir dari pecahan genting/bata.

Pecahan bata atau genting dari kualitas yang baik menjadikan agregatnya memenuhi syarat untuk beton, akan tetapi jika untuk beton bertulang sebaiknya kuat tekan batanya kurang dari 30 Mpa. Bata harus bebas dari mortar dan kapur.

c. Pasir dari terak dingin.

Terak dingin adalah hasil sampingan dari pembakaran bijih besi pada temperatur tinggi yang diinginkan pelan-pelan di udara terbuka.

Secara teoritis gradasi agregat yang terbaik adalah yang didasarkan pada karakteristik butir-butir agregatnya.

3.5. Stabilisasi Tanah

Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, mempunyai permeabilitas yang terlalu tinggi, atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah

tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut :

1. Menambah kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi *kohesi* dan/atau tahanan geser yang timbul.
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah.
4. Merendahkan muka air (*drainase tanah*).
5. Mengganti tanah-tanah yang buruk.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan berikut :

1. Secara Mekanis, pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda-benda berat yang dijatuhkan, *eksplosif*, tekanan statis, *tekstur*, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Penambahan bahan pencampur (*additive*), misalnya kerikil untuk tanah *kohesif* ; dan pencampuran kimiawi seperti semen portland, gamping, abu batu bara sering dengan gamping dan/atau semen portland, semen aspal, *sodium*, dan *kalsium klorida*, limbah-limbah pabrik kertas dan lain sebagainya (*sodium silikat*, *polifosfat*, dan sebagainya).

Tanah merupakan bahan bangunan pada berbagai pekerjaan teknik sipil, sehingga memerlukan standar persyaratan tertentu. Ada tiga kemungkinan kondisi tanah dijumpai di lokasi, yaitu :

- a. Kondisi tanah di lokasi cukup baik sehingga dapat dipakai langsung.

- b. Kondisi tanah di lokasi bangunan kualitasnya jelek, sehingga perlu diganti dengan tanah dari jenis lain yang lebih baik.
- c. Kondisi tanah di lokasi bangunan kualitasnya jelek, namun tidak perlu diganti tetapi tanah tersebut diperbaiki sifat-sifatnya sehingga persyaratannya terpenuhi.

Usaha untuk memperbaiki atau merubah sifat-sifat yang disebut stabilisasi tanah dapat berupa penambahan atau penggantian material baru, pemadatan, penambahan bahan kimia, pemanasan, pendinginan, mengalirkan arus listrik dan lain-lain. Secara garis besar stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu : Stabilisasi mekanik, stabilisasi fisik dan stabilisasi kimia (*Ingels dan Metcalf, 1977*).

3.5.1. Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi mekanik adalah suatu metoda untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan merubah struktur atau menambahkan jenis tanah lain yang tidak mempengaruhi sifat-sifat tanah itu sendiri. Cara ini dapat juga berupa pemadatan, penambahan dan penggantian dengan tanah lain, peledakan dengan alat peledak (*explosive*) dan tekanan statis. Alat-alat yang biasa digunakan pada stabilisasi mekanik khususnya untuk pemadatan adalah alat tumbuk, mesin gilas drum halus, pelat getar, mesin gilas ban angin dan mesin kaki domba.

3.5.2. Stabilisasi dengan Kapur

Pencampuran tanah dengan kapur merupakan stabilisasi kimia dengan bahan *aditif* tambahan dalam bentuk *kalsium oksida* dan *kalsium hidroksida* terhadap tanah. Penambahan kalsium akan mereduksi plastisitas tanah, meningkatkan kekuatan, dan mengurangi sifat *swelling* tanah. Kekuatan campuran tanah dengan

kapur tergantung pada : jenis tanah, kadar kapur, jenis kapur, masa perawatan atau *durabilitas (curing time)*, temperatur, kadar air, pengadukan, berat satuan pencampuran (variasi campuran), dan masa tunggu antara pengadukan hingga uji pemadatan dan uji lainnya (*Mitchell dan Hopper, 1961*).

Kapur (*lime*) merupakan bahan yang memiliki sifat *adhesif*, sehingga cukup baik digunakan sebagai bahan perekat untuk bangunan-bangunan yang berkaitan dengan teknik sipil. Disamping itu kapur masih relatif banyak tersedia di alam dengan harga yang cukup murah. Kapur (*lime*) yang digunakan sebagai bahan *aditif* merupakan unsur *kalsium hidroksida* atau *kalsium oksida*, sedangkan *kalsium karbonat* kurang efektif dan hanya bersifat sebagai bahan pengisi (*filler*). Proses stabilisasi sangat tergantung pada keaktifan kimia kapur pada mineral-mineral lempung di dalam tanah untuk membentuk campuran yang menimbulkan sementasi (*kalsium silikat*). Kapur diperoleh dari hasil proses pembakaran *kalsium karbonat* (batu kapur alam) hingga semua karbon terbakar.

Kualitas kapur diukur dari jumlah oksida (Ca dan Mg) yang ada dikapur. Jenis kapur yang baik digunakan untuk stabilisasi tanah adalah *hydrate lime* atau *kalsium hidroksida* (CaOH_2) dan *quicklime* atau *kalsium oksida* (CaO) (*Ingels dan Metcalf*).

Berdasarkan penelitian Ingels dan Metcalf, stabilisasi tanah dengan menggunakan kapur menghasilkan nilai kuat tekan bebas yang meningkat seiring dengan bertambahnya kadar kapur. Biasanya sampai sekitar 8% dari berat kering tanah. Setelah penambahan melebihi 8%, laju peningkatan nilai kuat tekan bebas berkurang sampai tidak ada penambahan kekuatan lagi atau konstan.

Tabel 3.3. Kadar kapur untuk berbagai jenis tanah lempung (*Ingels dan Metcalf, 1972*).

Jenis Lempung	Variasi Kapur
Lempung berkerikil gradasi baik	3%
Lempung berpasir	5%
Lempung berlanau	2% - 4%
Lempung keras	3% - 8%
Lempung sangat keras	3% - 8%

(Sumber : Soil Stabilization, 1972)

Stabilisasi dengan kapur secara umum bertujuan untuk meningkatkan kuat dukung tanah dengan peningkatan *kohesi* tanah dan kepadatan (*density*) tanah, juga terpeliharanya kuat dukung tanah yang sudah baik agar tidak mengalami penurunan akibat pengaruh cuaca.

3.6. Pemadatan (*compaction*).

Pemadatan (*compaction*) adalah usaha untuk meningkatkan berat volume dengan pemakaian energi mekanik untuk menghasilkan butiran yang lebih padat. Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan pada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah pada partikel tanah. Partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran kemudian membentuk kedudukan yang lebih padat.

Adapun tujuan dari pemadatan ini ialah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan adanya pemadatan ini ialah :

1. Pengurangan penurunan tanah akibat gerakan-gerakan vertikal di dalam massa tanah sendiri, akibat berkurangnya angka pori.
2. Bertambahnya kekuatan tanah.
3. Pengurangan penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.

Pendapat R.R. Proctor (1933) dalam buku Hary Christady 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 maksimum.

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar airnya (w) dinyatakan dengan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots(3.8)$$

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 Standar.

Prinsip pengujiannya adalah alat pemadat berupa silinder mold yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Tanah di dalam mould dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi 30,5 cm. Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan.

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan bervariasi. Kemudian digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian

3.8. Pengujian Tekan Bebas

Maksud dari pengujian ini adalah untuk menentukan besarnya sudut gesek dalam (ϕ), *kohesi* tanah (c) dan kuat tekan tanah. Kuat tekan bebas adalah besarnya tekanan *axial* (kg/cm^2) yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah hingga 20%, apabila tanah sampai pemendekan 20% tersebut tanah tidak ideal/tidak mengalami keruntuhan.

Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung, dimana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir keluar dari benda uji. Pada lempung jenuh, tekanan air pori dalam benda uji pada awal pengujian negatif (tegangan kapiler). Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya, karena $\sigma_3 = 0$, maka :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = qu$$

dengan qu adalah kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Strength*). Secara teoritis nilai $\Delta\sigma_f$ pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian *triaksial unconsolidated undrained* dengan benda uji yang sama, dari uji Tekan Bebas akan didapat parameter geser ϕ dan c .

$$\phi = 2(\alpha - 45^\circ) \dots\dots\dots(3.9)$$

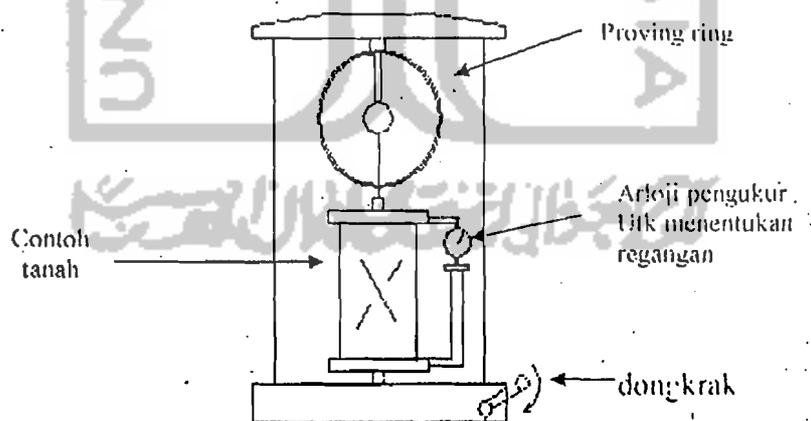
$$c = \frac{qu}{2 \tan \alpha} \dots\dots\dots(3.10)$$

dimana pada undrained shear strength, nilai $\phi = 0$. Sehingga :

$$c = \frac{qu}{2 \tan \alpha} = \frac{qu}{2} \dots\dots\dots(3.11)$$

Adapun cara pengujiannya adalah pertama tempatkan sampel tanah di atas mesin penekan secara vertikal dan sentris pada plat dasar alat tekan. Atur alat tekan sehingga plat atas menyentuh permukaan tanah, dial penunjuk diatur sehingga menunjukkan angka nol demikian pula pada dial regangan. Lakukan penekanan dengan mengatur kecepatan pembebanan, dengan kecepatan 1% tiap menit atau 1,4 mm/menit. Pembacaan dilakukan pada interval waktu 30 detik.

Pembebanan dihentikan apabila dial penunjuk beban sudah mengalami penurunan dua kali atau regangan mencapai 20% dari tinggi semula. Ambil tanah tadi kemudian ukur sudut pecahnya dengan mengukur sudut (α). Kemudian benda uji dimasukkan dalam kantong plastik lalu diremas-remas (dihancurkan) setelah itu dicetak kembali dalam tabung cetak. Benda uji hasil cetakan ini (*remolded*) diuji lagi sesuai prosedur pembebanan dan cari kadar air tanahnya.



Gambar 3.8 Alat Pengujian Kuat Tekan Bebas.