

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sifat Umum Tanah

2.1.1 Komposisi Tanah dan Klasifikasi

Ada bermacam-macam campuran partikel tanah yang terdapat dipermukaan bumi, beberapa jenis yang telah diketahui yaitu :

1. berangkal (boulders), yaitu potongan batuan yang lebih besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 sampai 250 mm, fragment 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 0,074 sampai 5mm. Dengan gradasi kasar 3 sampai 5 mm, hingga gradasi halus yang berukuran kurang dari 1 mm,
4. lanau (silt), yaitu partikel batuan yang berukuran 0.002 sampai 0.074 mm. *Deposit loose* terjadi bila angin mengangkut partikel lanau kesuatu lokasi. Angkutan oleh angin ini dapat membatasi ukuran partikel yang dibawanya sehingga dihasilkan deposit lanau yang sejenis,
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, serta

6. koloid (*Colloids*), yaitu partikel tanah yang diam dalam arti merupakan partikel tanah yang dianggap paling kecil, berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.

Apabila dalam suatu endapan partikel tanah tersebut terdapat jumlah partikel terbanyak, maka endapan diberi nama sesuai dengan jumlah partikel terbanyak yang dikandungnya. Selanjutnya mengenai klasifikasi tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.



Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah (ASTM D 2487-66T)

Klasifikasi Umum	Simbol Klasifikasi	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar lebih dari 50% tertahan pada ayakan 75µ	Kerikil bersih	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butir halus	
		GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butir halus	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung	
	Kerikil berbutir butiran halus	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butir halus	
		SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butir halus	
		SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung	
	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada ayakan 4,76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butir halus
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butir halus
50% atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4,76 mm	Pasir berbutir butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung	
Tanah berbutir halus lebih dari 50% lolos ayakan 75µ	Lanau dan lempung LL ≤ 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah	
	Lanau dan lempung LL > 50	OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik	
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomac), lanau elastis	
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi	
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
	Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadanya organik tinggi lainnya	

Klasifikasi berdasarkan pada persentase butir halus
 50% atau kurang : GW, GP, SW, SP
 Lebih dari 12% : GM, GC, SM, SC
 5% s/d 12% : Batasan Klasifikasi yang mempunyai simbol ganda.

U_c = D₆₀ / D₁₀ Lebih besar dari 4

$$U_c = \frac{D_{60}}{(D_{10} \times D_{60})}$$
 Bernilai antara 1-3

Tidak sesuai dengan kriteria GW

Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau indeks plastisitas < 4
 Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram dibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan pengecolongan

Batas Atterberg terletak diatas garis A dan indeks plastisitas > dari 7

U_c = D₆₀ / D₁₀ Lebih besar dari 6

$$U_c = \frac{D_{60}}{(D_{10} \times D_{60})}$$
 Bernilai antara 1-3

Tidak sesuai dengan kriteria SW

Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau indeks plastisitas < dari 4
 Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan klasifikasi

Batas Atterberg terletak di atas garis A atau indeks plastisitas > dari 7

Indeks plastisitas I_p (%)

Diagram plastisitas Untuk mengklasifikasi kadar butir halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol

Dapat dibedakan dengan mata dan tangan ASTM D 2488-66T

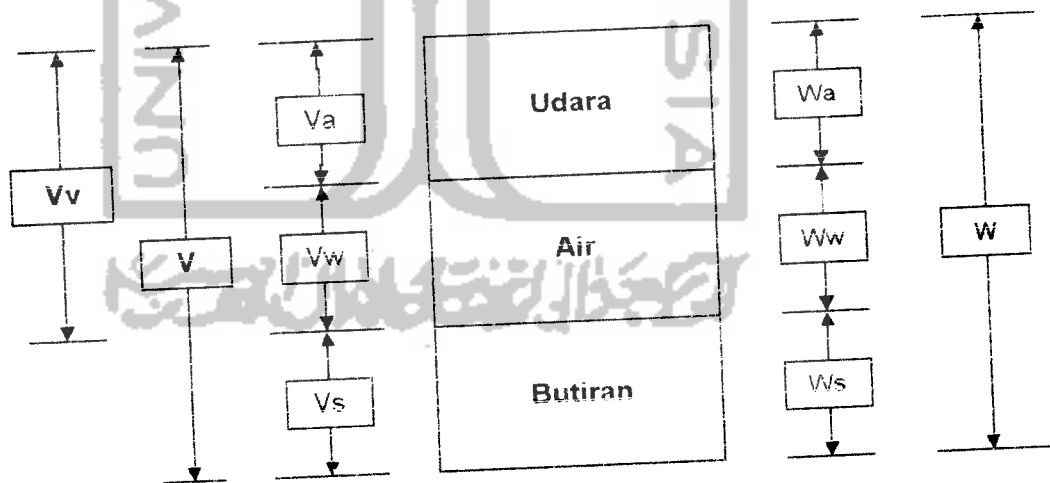
Sumber: Ir. Suwanto, Sastrotomo, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi

2.1.2 Hubungan Antar Susunan Tanah

Segumpal tanah yang berbentuk kubus secara visual akan terlihat bahwa tanah tersebut terdiri dari 3 susunan, yaitu :

1. pori-pori atau rongga (*void*), merupakan ruang terbuka diantara ruangan-ruangan tanah dengan berbagai ukuran,
2. butiran tanah, yang mungkin sebagai mikroskopis atau makroskopis dalam ukurannya, dan
3. kelembaban tanah, yang dapat menyebabkan tanah terlihat basah, lembab atau kering. Air didalam pori ini disebut air pori.

Hubungan antar susunan tersebut dapat digambarkan dalam diagram susunan seperti Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram susunan tanah

Dari gambar tersebut dapat dibentuk suatu persamaan-persamaan ,

$$W = W_a + W_w \quad (2.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (2.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (2.3)$$

Keterangan :

W_s = Berat butiran padat

W_w = Berat air

V_a = Volume udara

V_w = Volume air

V_s = Volume butiran padat

Definisi serta istilah-istilah yang berhubungan dengan tanah adalah sebagai berikut :

1. kadar air (W), adalah perbandingan antara berat air dengan butiran padat dalam tanah, yaitu :

$$W = W_w / W_s \quad (2.4)$$

Kadar air ini ditentukan dengan menimbang contoh tanah kemudian dikeringkan dalam oven listrik bersuhu 105 °C - 110 °C (untuk tanah gambut, karena mempunyai kandungan organik yang tinggi, jika dipanaskan pada suhu diatas 100 °C selama 20 jam, tanah gambut akan hangus. Sehingga pada pemeriksaan kadar air untuk tanah gambut dilakukan pada suhu 80 °C selama 20 jam),

2. derajat kejenuhan (S_r), adalah perbandingan antara volume total air dengan volume total pori, yaitu :

$$S_r = V_w / V_v \quad (2.5)$$

dapat juga ditulis dengan rumus :

$$S_r = w \times G_s / e \quad (2.6)$$

3. angka pori (e), adalah perbandingan antara volume pori dengan volume partikel padat, yaitu :

$$e = V_v / V_s \quad (2.7)$$

4. porositas (n), adalah perbandingan volume pori dan volume total tanah, yaitu :

$$n = V_v / V_t \quad (2.8)$$

5. kerapatan butiran (bulk density), adalah perbandingan antara massa total tanah dengan volume total tanah, yaitu :

$$P = M / V \quad (2.9)$$

6. berat jenis dari partikel tanah (G_s), dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$G_s = (M_s / V_s \times P_w) = (W_s / V_s \times \gamma_w) \quad (2.10)$$

7. berat isi tanah (γ), adalah perbandingan antara berat total dan berat volume total tanah, yaitu :

$$\gamma = M \times G / V = M / V \quad (2.11)$$

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

$$\gamma_b = W / V \quad (2.12)$$

9. berat volume butiran padat (γ_k), adalah perbandingan antara berat butiran tanah (W_s) dengan volume butiran tanah (V), yaitu :

$$\gamma_k = W_s / V \quad (2.13)$$

10. berat volume butiran padat (γ_s), adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s), yaitu :

$$\gamma_s = W_s / V_s \quad (2.14)$$

2.1.3 Tanah Gambut

Tanah gambut berasal dari fragmen-fragmen organik (misalnya daun-daun, ranting-ranting, batang-batang pohon, dan lain-lain) yang telah mengalami perombakan bentuk fisik secara kimiawi sebagai akibat dari proses pembusukan dan fosilisasi.

Selama ini dikenal 3 (tiga) macam sistem klasifikasi untuk tanah gambut yaitu :

1. klasifikasi yang didasarkan pada derajat dekomposisi,
2. klasifikasi yang didasarkan pada jenis tumbuhan dari bahan organiknya, dan
3. klasifikasi yang didasarkan pada prosentase kandungan bahan organiknya.

Von Post (1922) mengelompokkan tanah gambut kedalam 10 (sepuluh) katagori seperti pada Tabel 2.2, yaitu H-1 untuk tanah gambut yang sama sekali tidak terdekomposisi sampai dengan H-10 untuk tanah gambut yang terdekomposisi sepenuhnya (derajat dekomposisi 100 %).

Tabel 2.2 Penggolongan Tanah Gambut Berdasarkan Tingkat Pembusukannya oleh Von Post (1922).

	KETERANGAN
H ₁	Perubahan serat-serat gambut sama sekali tidak ada dan serat-serat bebas dari lempung, jika tanah ini diremas dengan tangan akan keluar air bening saja.
H ₂	Perubahan serat-serat gambut hampir-hampir tidak ada dan serat-serat masih tetap bebas dari lempung, jika tanah ini diremas dengan tangan akan keluar air yang hampir bening dan tanpa warna.
H ₃	Terdapat perubahan yang kecil dari serat-serat gambut atau serat-serat bersifat sangat sedikit kelempungan, jika tanah ini diremas dengan tangan akan keluar air yang memiliki tanda kelempungan, tetapi gambut yang keluar dari sela-sela jari tangan pada saat remasan, sedikitpun tidak ada. Remasan ini menghasilkan sisa yang tidak tebal.
H ₄	Terdapat perubahan yang buruk dari serat-serat gambut atau serat-serat bersifat sedikit kelempungan, jika tanah ini diremas dengan tangan akan keluar air yang memiliki tanda kelempungan. Remasan ini menghasilkan sisa yang agak tebal.
H ₅	Terdapat perubahan yang cukup baik dari serat-serat gambut atau serat-serat bersifat agak kelempungan, struktur serat masih cukup jelas terlihat tetapi sebagian kecil dari struktur ini sudah lenyap. Apabila tanah ini diremas dengan tangan akan keluar material gambut dari sela-sela jari tangan, tetapi hampir seluruhnya bersifat air kelempungan. Remasan ini menghasilkan sisa yang sangat tebal.
H ₆	Terdapat perubahan yang cukup baik dari serat-serat gambut atau serat-serat bersifat agak kelempungan dengan struktur serat yang sudah tidak jelas lagi. Apabila tanah ini diremas dengan tangan akan keluar material gambut dari sela-sela jari tangan. Banyaknya material gambut yang keluar tersebut adalah hampir sepertiga bagiannya. Remasan tersebut menghasilkan sisa yang luar biasa tebalnya, tetapi sisa ini memiliki struktur serat yang dapat dilihat lebih jelas dari pada gambut yang belum diremas.
H ₇	Terdapat perubahan yang hampir baik dari serat-serat gambut atau serat-serat memiliki tanda kelempungan, tetapi struktur seratnya masih dapat terlihat. Apabila tanah ini diremas dengan tangan, kira-kira separuh bagian dari tanah itu akan keluar melalui sela-sela jari tangan. Apabila terdapat air yang ikut keluar melalui sela-sela jari-jari tangan, maka hal ini disebabkan sifat gambut yang menyerupai adonan bubur.
H ₈	Terdapat perubahan yang baik dari serat-serat gambut atau serat-serat sangat kelempungan dengan struktur serat yang sangat tidak jelas terlihat. Pada saat tanah ini diremas dengan tangan, kira-kira dua per tiga bagian dari tanah tersebut keluar dari sela-sela jari tangan dan bersamaan dengan cairan kental seperti bubur yang keluar dalam jumlah kecil. Remasan ini menghasilkan sisa yang hanya berupa serat-serat dan akar-akaran.
H ₉	Terdapat perubahan yang hampir sempurna dari serat-serat gambut atau serat-serat hampir menyerupai lempung dimana hampir tidak ada struktur serat yang terlihat dengan jelas. Pada saat tanah ini diremas dengan tangan hampir seluruhnya keluar melalui sela-sela jari tangan seperti adonan bubur yang homogen.
H ₁₀	Terdapat perubahan yang sempurna dari serat-serat gambut atau serat-serat sudah benar-benar merupakan lempung dimana sudah tidak ada sama sekali struktur serat yang dapat terlihat. Pada saat tanah ini diremas dengan tangan seluruhnya keluar melalui sela-sela jari tangan.

Menurut Macfarlane dan Radforth (1965,1969), tanah gambut dapat digolongkan kedalam dua kelompok besar :

1. Fibrous Peat (gambut berserat), dan
2. Amorphous Granular Peat (gambut amorphous granular).

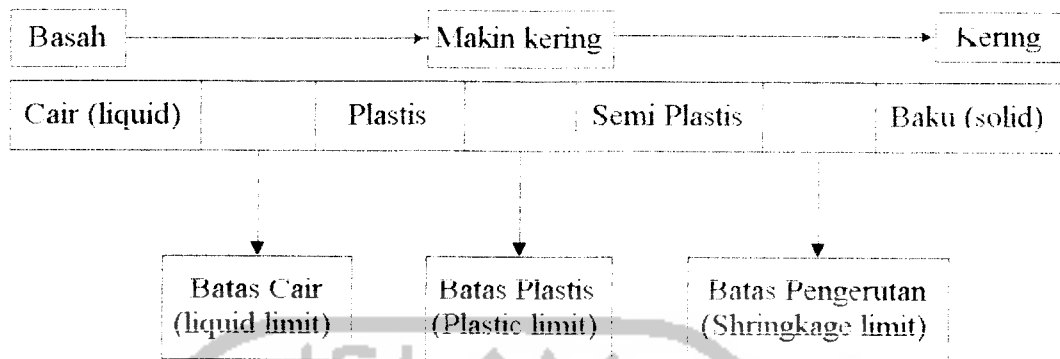
Amorphous granular peat memiliki partikel tanah yang sebagian besar berukuran coloid ($<2\mu\text{m}$) dan sebagian besar air porinya terserap di seluruh permukaan butiran oleh sebab itu amorphous granular peat memiliki perilaku yang menyerupai lempung. Suatu tanah dapat dikatakan sebagai amorphous granular peat apabila tanah tersebut mengandung serat (fiber) kurang dari 20%, sedangkan tanah yang mengandung serat atau fiber 20% lebih dikatakan sebagai fibrous peat. Fibrous peat pada dasarnya sebagai struktur tanah yang memiliki banyak rongga dimana rongga-rongga itu ditempati oleh serat-serat halus. Serat-serat tersebut sudah tidak memiliki sifat seperti kayu walaupun serat-serat tersebut berawal dari kayu-kayu yang telah mengalami pembusukan dan fosilisasi.

Hubungan antara kadar organik dengan kadar air pada tanah gambut adalah tanah dengan kadar organik rendah mempunyai kadar air rendah, kadar air akan naik dengan naiknya kadar organik. Keadaan ini menunjukkan bahwa material inorganik dapat menyimpan air lebih sedikit daripada material organik. Disamping itu tanah organik dapat dikatakan sebagai tanah yang masih muda karena selalu mengalami proses dekomposisi (pembusukan) sehingga biasanya tanah organik lebih berongga dibandingkan tanah inorganik (clay/lempung). Sebagai akibatnya, tanah organik dapat menyimpan air lebih banyak dibandingkan dengan tanah inorganik.

2.1.4 Batas Konsistensi Tanah

1. Batas cair (*liquid limit* = W_L), adalah kadar air untuk nilai-nilai di atasnya, tanah akan berperilaku sebagai cairan kental. Secara kasar dapat didefinisikan kadar air dimana 25 kali pukulan oleh alat batas air akan menutup celah (*groove*) yang dibuat pada lempengan tanah sepanjang 12,7 cm.
2. Batas Plastis (*Plastic limit* = W_p), adalah kadar air untuk nilai-nilai dibawahnya, tanah tidak berperilaku sebagai bahan plastis. Tanah akan bersifat sebagai bahan plaitis pada kadar air yang berkisar antara W_L dan W_p , harga ini ini disebut sebagai indeks plastisitas (*plasticity index*), dan dapat dihitung sebagai berikut :
$$I_p = W - W_p$$
3. Batas susut (*shrinkage limit* = W_s), kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan = 100%, untuk nilai dibawahnya tidak akan terjadi perubahan volume tanah apabila dikeringkan terus.
4. Batas lengket (*Sticky limit*), adalah kadar air pada keadaan tanah kehilangan sifat adhesinya dan tidak dapat lengket lagi pada benda lain seperti jari atau benda lain yang memiliki permukaan halus.
5. Batas kohesi (*cohesion limit*), adalah kadar air pada keadaan butiran tanah tidak dapat melekat lagi, yaitu pengambilan tanah tidak dapat menghasilkan lempengan-lempengan bersatu.

Keadaan-keadaan ini dengan istilah-istilah yang dipakai untuk batas antaranya dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut :



Gambar 2.2 Batas-batas Konsistensi Tanah

2.2 Sifat-Sifat Bahan Clean Set Cement

Clean Set Cement adalah suatu bahan kimia yang diproduksi oleh pabrik, berfungsi untuk memperbaiki atau menstabilkan tanah lunak, endapan lumpur dan lain-lain. Bahan-bahan *Clean Set Cement* terdapat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia *Clean Set Cement*

Komponen	% Berat
SiO ₂	15,09 - 21,68
Al ₂ O ₃	4,25 - 7,61
Fe ₂ O ₃	2,03 - 4,26
CaO	53,26 - 65,90
Mgo	1,77 - 3,22
SO ₃	1,52 - 9,87

sumber dari PT Indo *Clean Set Cement*. Metode *Clean set Cement* Untuk Stabilitas Tanah lunak

Apabila dicampur dengan tanah, maka *Clean Set Cement* akan menurunkan kadar air tanah, itu disebabkan *Clean Set* mampu mengikat molekul air. *Clean Set Cement* juga mampu meningkatkan daya dukung tanah.

2.3 Stabilisasi Tanah Gambut Dengan CSC

Perbaikan tanah dengan menggunakan bahan *Clean Set Cement* akan menambah nilai kohesi dari tanah tersebut dan menaikkan sudut geser tanah. Cara-cara pencampuran bahan *Clean Set Cement* adalah sebagai berikut ini.

1. Pencampuran dalam keadaan kering (*dry mixing*).

Guna memperbaiki lapisan permukaan, tanah sangat umum bila pencampuran bahan stabilisasi dilakukan pada keadaan kering, sebab dengan cara tersebut mudah untuk memperoleh kekuatan yang diinginkan.

2. Pencampuran secara pembuburan (*slurry*).

Cara ini digunakan bila bahan stabilisasi digunakan untuk pengerasan gambut, lumpur dan lain-lain.

Sedangkan metode pencampuran bahan *Clean Set Cement* untuk keperluan bahan stabilisasi tanah adalah sebagai berikut ini.

1. *In-place* atau setempat.

Pada metode ini, bahan stabilisasi langsung dicampurkan dengan tanah yang akan distabilisasi. Pematatannya dilakukan segera setelah selesai pencampuran. Metode ini mudah digunakan karena mudah pelaksanaannya dan ekonomis, walaupun efisiensi maksimal dalam pencampurannya tidak begitu baik.

2. *Yard-mixing* (lokasi pencampuran khusus).

Bahan stabilisasi dicampur dengan tanah di suatu lokasi tersendiri yang letaknya bersebelahan dengan areal tanah yang diambil untuk mencampur. Dari lokasi tersebut, tanah yang sudah dicampur dengan bahan stabilisasi diangkut ke lokasi pekerjaan konstruksi kemudian dipadatkan.

3. *Plant-mixing*.

Dalam metode ini tanah dicampur pada suatu tempat tersendiri. Tahapannya hampir sama dengan metode *yard-mixing*. Secara umum, metode ini menyajikan kemudahan pencampuran serta kontrol yang sempurna akan mutu campuran. Metode ini mensyaratkan tambahannya biaya, maka metode ini biasanya diterapkan untuk proyek-proyek yang berskala besar.

2.4 Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara dengan menggunakan energi mekanis. Umumnya makin tinggi derajat kepadatan, makin rendah kompresibilitas tanah tersebut. Derajat kepadatan tanah diukur berdasarkan satuan kerapatan kering, yaitu massa partikel padat per satuan volume tanah.

Adapun tujuan dari pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Keuntungan yang didapatkan dari usaha pemadatan ini antara lain :

1. berkurangnya penurunan permukaan tanah (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal didalam massa tanah akibat berkurangnya angka pori.
2. bertambahnya kekuatan tanah, dan

3. pengurangan penyusutan atau berkurangnya volume akibat semakin berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat dilakukan pengeringan.

Dalam pemadatan ini akan dihasilkan grafik atau kurva hubungan antara berat isi kering (γ_k) dengan kadar air (W) yang diberikan secara teratur. Setelah terbentuk grafik tersebut dapat dilihat berapa kadar air optimum yang dimiliki oleh tanah yang dipadatkan. Pada keadaan ini telah mencapai kepadatan tanah maksimum.

2.5 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah tekanan maksimum tanah yang dapat memikul beban di atasnya tanpa terjadi kelongsoran ataupun kerusakan struktur di atasnya. Untuk menghitung besarnya daya dukung tanah (*bearing capacity*) diperlukan nilai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser tanah (*Shear failure*) didalam tanah adalah akibat gerak relatif antara butiran tanah, bukan karena butirnya sendiri yang hancur. Oleh karena itu kekuatan tanah bergantung pada gaya-gaya yang bekerja antara butiran tanah. Dengan demikian kekuatan geser tanah dapat dianggap terdiri dari dua bagian, yaitu :

1. bagian yang bersifat kohesi, yang bergantung pada macam jenis tanah dan kepadatan tanah, serta
2. bagian yang mempunyai sifat gesekan (*frictional*) yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.