

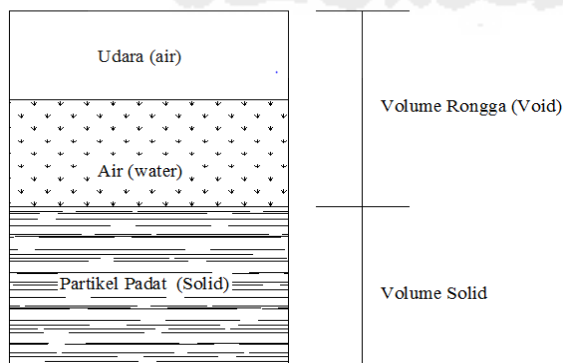
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 PENGERTIAN TANAH

Tanah adalah bagian dari kerak bumi yang tersusun dari mineral dan bahan organik. Tanah sangat vital peranannya bagi semua kehidupan di bumi karena tanah mendukung kehidupan tumbuhan dengan menyediakan hara dan air sekaligus sebagai penopang akar. Struktur tanah yang berongga-rongga juga menjadi tempat yang baik bagi akar untuk bernafas dan tumbuh. Tanah juga menjadi habitat hidup berbagai mikroorganisme. Bagi sebagian besar hewan darat, tanah menjadi lahan untuk hidup dan bergerak.

Tanah mempunyai pengertian teknik secara umum yaitu didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das,1998), sementara tanah menurut Terzaghi yaitu “tanah terdiri dari butiran-butiran hasil pelapukan masa batuan masif, dimana ukuran tiap butirnya dapat sebesar kerikil-pasir-lanau-lempung dan kontak antar butir tidak tersementasi termasuk bahan organik.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber : Das, 1998)

Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air dan bahan padat, udara dianggap tak mempunyai pengaruh teknis sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran (ruang ini disebut pori atau *voids*) sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Sehingga jika beban diterapkan pada tanah kohesif yang jenuh maka pertama kali beban tersebut akan didukung oleh tekanan air dalam rongga pori tanahnya. Pada kondisi ini butiran-butiran lempung tidak dapat mendekat satu sama lain untuk meningkatkan tahanan geser selama pori di dalam rongga pori tidak keluar meninggalkan rongga tersebut, karena rongga pori tanah lempung sangat kecil keluarnya air pori meninggalkan rongga pori memerlukan waktu yang lama. Jika sesudah waktu yang lama setelah air dalam rongga pori berkurang butiran-butiran lempung dapat mendekat satu sama lain sehingga tahanan geser tanahnya meningkat. Masalah ini tak dijumpai pada tanah granuler yang rongga porinya relatif besar karena sewaktu beban diterapkan air langsung keluar dari rongga pori dan butiran dapat mendekat satu sama lain yang mengakibatkan tekanan gesernya langsung meningkat.

Definisi lain tanah adalah sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori yang berisi air dan udara. Ikatan yang lemah antar partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang tersenyawa di antara partikel. Jika pelapukan disebabkan oleh adanya material organik, hasil dari pelapukan tersebut tetap berada pada tempat semula. Pelapukan tanah ini disebut tanah sisa (*residu soil*), jika hasil pelapukan terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation soil*). Media pengangkutan tanah berupa gravitasi, angin, air dan *gletsyer*. Pada saat akan berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran.

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan *gletsyer*, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid (< 0.002 mm) yang dikenal sebagai mineral lempung. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Das, 1998). Ditinjau dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung dan mineral lempung adalah tanah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953).

Peranan tanah ini sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan untuk mendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*Subgrade*).

Menurut Dunn, 1980 berdasarkan asalnya, tanah diklasifikasikan secara luas menjadi dua jenis yakni sebagai berikut ini.

1. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti, berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan kadang-kadang dari kumpulan kerangka dan kulit organisme.
2. Tanah anorganik adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimiawi ataupun fisis.

Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das, 1998) tanah dikelompokan seperti berikut ini.

1. Tanah butir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu memperhatikan faktor-faktor :

1. prosentase butiran yang lolos ayakan no.200 (fraksi halus),
2. prosentase fraksi kasar yang lolos ayakan no.40,
3. koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan no.200, dan
4. batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no.40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no.200). Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti terlihat dalam **Tabel 3.1** Simbol Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified System* berikut ini.

Tabel 3.1 Simbol Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified System*

Jenis Tanah	Simbol	Sub Kelompok	Simbol
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
		Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlampung	C
Lanau	M	LL < 50%	L
Lempung	C		
Organik	O	LL > 50%	H
Gambut	PT		

(Sumber : Bowles,1991)

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm. Pada **Gambar 3.2** dibawah ini menunjukkan batas interval ukuran butiran lempung, lanau, pasir dan kerikil menurut USCS (*Unified Soil Classification system*), ASTM (*American Society for Testing Material*) dan MIT dan *International Nomenclature*.

	1,7 mm	0,38	0,075								
Unified Class System	k										
	a										
		Sedang	Halus	Butiran halus (lanau dan lempung)							
	Pasir										
	2,0 mm	0,420	0,075	0,005	0,001						
ASTM	pasir sedang		Pasir halus	lanau	lempung	lempung koloidal					
	2,0 mm	0,6	0,2	0,06	0,006	0,002	0,0006				
	0,0002 mm										
MIT nomen- clature	kasar	sedang	halus	ksr	sedang	halus	kasar	sedang	Halus		
	Pasir				lanau			Lempung			
	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002
Inter- national nomen- clature	sangat kasar	kasar	Sdg	halus	Kasar	halus	ksr	halus	kasar	hls	sangat hls
	pasir				M _s		lanau		Lempung		

Gambar 3.2 Klasifikasi Butiran Tanah Menurut *Unified Soil Classification System, ASTM, MIT, dan International Nomenclature* (Sumber : Hardiyatmo, 2006)

Sifat fisik dan sifat mekanik tanah, lebih ditentukan oleh jenis dari klasifikasi tanah itu sendiri. Pengklasifikasian tanah dimaksudkan untuk mempermudah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok tanah yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Tanah sebagai *subgrade* yang berhubungan dengan kestabilan maupun daya dukungnya, faktor yang terpenting untuk ditinjau yaitu sifat-sifat dari tanahnya, hal itu diantaranya adalah jenis butiran dan tingkat gradasinya.

3.2 TANAH LEMPUNG

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan sub-mikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusutan 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 (Terzaghi dan Peck, 1987). Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sifat-sifat mineral lempung sebagai berikut ini.

a. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperature yang lebih tinggi dari 60° sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

b. Aktivitas (A)

Hardiyatmo (2006) mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (PI) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm yang dinotasikan dengan huruf C. Aktifitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung.

c. Flokulasi dan Disversi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkristal (*amophus*) maka daya negatif netto, ion-ion H⁺ di dalam air, gaya *Van Der Waals*, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik dan membentuk *flok*

(*flock*) yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sedimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala *thixotropic* (*Thixopic*), dimana kekuatan dipadatkan dari lamanya waktu.

d. Pengaruh zat cair

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas Atterberg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (*dipolar*).

e. Sifat kembang susut (*Swelling*)

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu sebagai berikut ini.

- 1) Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- 2) Kadar air.
- 3) Susunan tanah.
- 4) Konsentrasi garam dalam air pori.
- 5) Sementasi.
- 6) Bahan organik, dll.

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang. Lempung *Ekspansive* merupakan jenis tanah lempung yang diklasifikasikan kedalam jenis tanah yang memiliki nilai pengembangan dan nilai penyusutan yang besar, sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada struktur yang berada di atasnya. Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume atau mengalami pengembangan atau penyusutan ketika kadar air berubah, perubahan itulah yang membahayakan bangunan, maka dari itu air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung.

3.3 SEMEN PC (*PORTLAND CEMENT*)

Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen banyak digunakan dalam pencampuran uji stabilitas tanah karena memiliki sifat perekat yang dapat mengikat butiran satu dengan butiran lainnya demi meningkatnya daya dukung dan nilai CBR suatu tanah. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen *portland*, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Dalam *Portland Cement* ini terdapat susunan senyawa semen yang berfungsi sebagai berikut.

1. $C_3S = 3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (*Trikalsium Silikat*) mempunyai andil yang besar terhadap fungsi sebagai perekat dan dapat mengeras jika bereaksi dengan air sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan.
2. $C_2S = 2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (*Dikalsium Silikat*) berfungsi sama dengan C_3S .
3. $C_3A = 3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (*Trikalsium Aluminat*) dalam semen *portland* tidak berfungsi sebagai perekat. Senyawa ini hanya berfungsi sebagai *fluks* (bahan

pelebur) sewaktu masih ada dalam tungku pembakaran, sehingga akan mudah terbentuk senyawa C3S dan C2S.

4. C4AF = $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (*Tetra Alumineferrit*) berfungsi sama seperti C3A serta andil terhadap warna semen.
5. Gips = $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ berfungsi sebagai *retarder* atau memperlambat waktu pengerasan tepung semen *portland* bila bercampur dengan air.
6. Selain itu terdapat komposisi kimia lain seperti : C =CaO, Na₂O, K₂O dalam jumlah yang kecil.

Sifat-sifat tanah dapat diperbaiki secara ekonomis dengan menggunakan bahan campuran. Salah satu bahan campuran yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi adalah *portland cement*, mengingat bahwa kemampuannya mengeras dan mengikat butir-butir agregat sangat baik. Hal ini bermanfaat bagi usaha mendapatkan massa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi. *Portland cement* dapat bereaksi dengan hampir semua jenis tanah, dari jenis kasar nonkohesif sampai sangat plastis. Biasanya pada stabilisasi tanah dasar dengan menggunakan *portland cement* ditambahkan suatu *retarder* ganti bahan untuk memperlambat pengerasan. Bahan yang digunakan adalah *gips* (campuran kapur dan asam sulfat). Untuk mengontrol dan memperlambat waktu pengerasan biasanya dibutuhkan penambahan bahan *gips* sebesar 2% atau 3% (Murdock dan Brook, 1991).

3.4 STABILISASI TANAH

Stabilisasi tanah merupakan upaya untuk menambah kapasitas daya dukung tanah dan kenaikan kekuatan yang akan diperhitungkan pada proses perancangan *subgrade*. Karena itu, stabilisasi tanah membutuhkan metode perancangan dan pelaksanaan yang lebih teliti dibandingkan dengan modifikasi tanah, apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan dan apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitasnya yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan sehingga dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan. Stabilisasi Tanah merupakan usaha perbaikan daya dukung (mutu) tanah yang tidak atau kurang

baik. Dapat juga dikatakan bahwa stabilisasi tanah ialah usaha meningkatkan daya dukung (mutu) tanah yang sudah tergolong baik. Menurut (Bowles,1991), stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut :

1. meningkatkan kerapatan tanah,
2. menambah material yang tidak aktif, sehingga meningkatkan kohesi atau tahanan gesek yang timbul,
3. menambahkan bahan agar terjadi perubahan-perubahan kimiawi dan atau fisik tanah,
4. menurunkan muka air tanah, dan
5. mengganti tanah yang buruk.

Terdapat dua metode utama untuk menstabilisasi tanah yaitu stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*) dan stabilisasi kimia (*chemical stabilization*).

1. Stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*)

Stabilisasi mekanis merupakan upaya pengaturan gradasi butiran tanah secara proporsional yang diikuti dengan proses pemadatan untuk mendapatkan kepadatan maksimum. Bowles (1991) mengatakan bahwa cara pemadatan ini dapat ditempuh dengan menggunakan peralatan mekanis (misal: *sheep-foot roller*), benda-benda berat dijatuhkan, *eksplosif*, *preloading*, pembekuan, pemanasan dan lain-lain.

2. Stabilisasi kimia (*chemical stabilization*)

Merupakan stabilisasi dengan menggunakan cara penambahan bahan kimia padat, cair maupun *gel* pada tanah sehingga mengakibatkan perbaikan sifat-sifat fisik dan mekanis dari tanah tersebut. Metode ini menggunakan cara mencampurkan tanah dengan semen, aspal, kapur, bentonit atau bahan kimia lainnya (Cernica, 1995). *Chemical Stabilization* merupakan salah satu solusi didalam permasalahann jalan raya di tanah – tanah lempung lembek dan tanah-tanah yang mengembang.

Tujuan utama yang akan dicapai dari stabilisasi tanah itu sendiri adalah meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah. Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu tindakan seperti berikut ini.

1. Secara dinamis yaitu pemadatan tanah dengan alat pemadat.
2. Perbaikan gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang, sehingga tercapai gradasi yang rapat. Fraksi yang kurang biasanya adalah fraksi yang berbutir kasar, cara yang dilakukan adalah mencampur tanah dengan fraksi butir kasar seperti pasir, dan kerikil atau pasir saja.
3. Stabilisasi kimiawi, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu, sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antarlain : portland semen, kapur tohor, atau bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu : mencampur tanah dengan bahan kimia kemudian diaduk dan dipadatkan, cara dua adalah memasukkan bahan kimia kedalam tanah (*grouting*) sehingga bahan kimia bereaksi dengan tanah.
4. Pembongkaran dan penggantian tanah yang jelek. Pada tanah yang jelek akan mengandung bahan organik sehingga terjadi pembusukan, apabila terkena beban akan mengalami penurunan yang tidak sama. Perbaikan tanah dilakukan dengan mengganti tanah jelek tersebut dengan tanah berkualitas baik, misalnya dengan tanah yang memiliki CBR yang lebih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
5. Dalam upaya peningkatan daya dukung (stabilisasi) tanah lempung sudah banyak dilakukan menggunakan stabilisator yang beraneka ragam, seperti : semen, *fly ash* dan kapur serta bahan-bahan penambah (*additive*) lainnya. Alasan penggunaan bahan-bahan tersebut adalah kesesuaiannya dengan kebutuhan teknis, mudah didapat dan tidak mencemari lingkungan. Penelitian ini akan menggunakan bahan stabilisator berupa campuran semen dan DIFA[®] SS.

Menurut Ingels dan Metcalf (1972), sifat-sifat tanah yang diperbaiki dengan stabilisasi dapat meliputi: kestabilan volume, kekuatan/ daya dukung, permeabilitas, dan keawetan.

3.5 LAPIS PONDASI SEMEN KOMPOSIT TANAH

Pekerjaan ini merupakan penyediaan Lapis Pondasi yang terbuat dari tanah yang diambil dari daerah sekitarnya yang distabilisasi dengan semen komposit, semen komposit adalah semen portland standar yang dicampur dengan bahan tambah bubuk tertentu, penambahan dilakukan langsung dengan ditebar terpisah, masing-masing semen dan bahan tambah, diatas tanah yang akan dijadikan sebagai lapis pondasi. Bahan tambah bubuk yang digunakan dalam Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah, adalah bubuk, yaitu suatu campuran mineral-mineral yang bersifat semen (*cementitious*), *non polymer*, yang mengandung *natural oxides, chloride, sulfat, carbonate* dan sekurang - kurangnya mengandung senyawa *calسيومchlorid-dihydrat*. Dalam pelaksanaan termasuk penghamparan, pembentukan, pemadatan, perawatan dan penyelesaian akhir, sesuai dengan ketentuan dari spesifikasi ini. Campuran Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah terdiri dari tanah yang telah disetujui, semen, bahan tambah (*additive*) dalam bentuk bubuk. Kadar semen komposit dalam rentang 8% sampai dengan 15% dari berat tanah asli (yaitu sebelum dicampur dengan semen) dalam keadaan kering oven, dimana didalamnya terdapat bahan tambah dalam rentang 2% sampai dengan 2.5% dari berat semen komposit. (sumber Dinas PU, 2013).

3.6 STRUKTUR PERKERASAN JALAN

Pada umumnya, perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas, sebagai berikut :

1. lapis tanah dasar (*sub grade*),
2. lapis pondasi bawah (*subbase course*),
3. lapis pondasi atas (*base course*), dan
4. lapis permukaan / penutup (*surface course*).



Gambar 3.3 Lapis Struktur Perkerasan Jalan

(Sumber : Dinas PU, 2013)

Adapun fungsi dan persyaratan yang harus dipenuhi disetiap lapisan struktur perkerasan jalan.

a. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut Spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu dengan nilai CBR > 3%.

b. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapis pondasi atas. Lapis pondasi bawah ini berfungsi untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini mempunyai persyaratan nilai CBR minimum 20%.

c. Lapisan pondasi atas (*base course*)

Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan pondasi atas ini berfungsi sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya. Lapisan ini mempunyai persyaratan nilai CBR minimum 50%.

d. Lapisan Permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan. Lapisan permukaan ini berfungsi sebagai lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan.

3.7 PENGUJIAN – PENGUJIAN TANAH

Percobaan pengujian sifat fisik tanah bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik yang dimiliki oleh tanah yang meliputi pengujian fisik dan pengujian mekanik.

3.7.1 Pengujian Sifat Fisis dan Mekanik

1. Distribusi Ukuran Butir

Sifat-sifat tanah sangat tergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh

karena analisis ukuran butiran merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Pada umumnya pengukuran analisis ukuran butiran dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu analisis ayakan (*sieve analysis*) dan analisis pengendapan (*hydrometer analysis*).

Analisis ayakan (*sieve analysis*) digunakan untuk menyaring tanah berbutir kasar yang tertahan saringan no. 200 (lebih besar dari 0.075 mm). Caranya, diguncang dengan kecepatan tertentu dengan cara mekanis lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung kemudian digambar dalam satu grafik hubungan diameter butiran dengan prosentase lolos. Kemudian analisis pengendapan (*hydrometer analysis*) digunakan untuk distribusi ukuran butir tanah berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (lebih kecil dari 0,075 mm) dengan cara sedimentasi.

Metode ini didasarkan pada *hukum Stokes* yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi. Biasanya butiran yang besar akan mengendap terlebih dahulu dan yang lebih kecil akan lebih lambat. Dari pengujian ini akan diketahui prosentase masing-masing range ukuran butir (*Hardiyatmo, 2006*). Jika tanah lolos saringan No. 200 > 50% maka diklasifikasi tanah berbutir halus (USCS).

2. Indeks Plastisitas (PI)

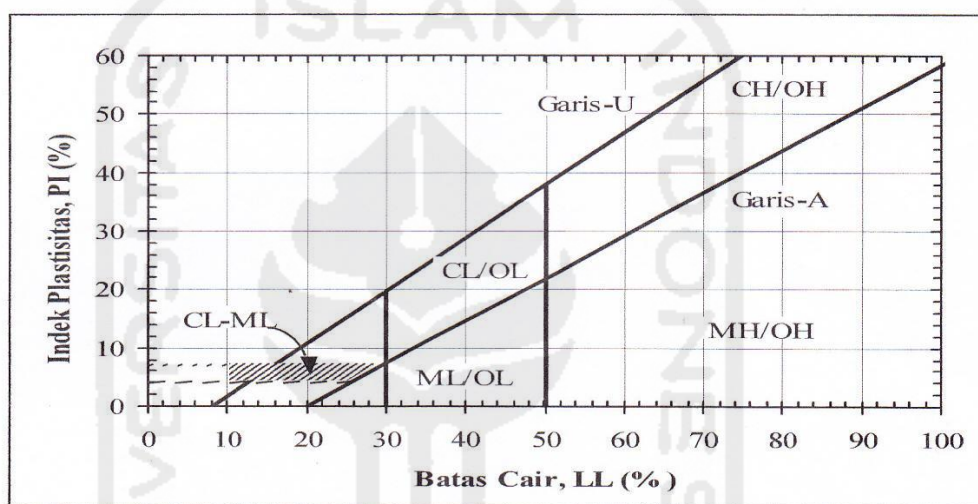
Umumnya tanah berbutir halus secara alamiah berada pada dalam kondisi plastis. Batas atas dan bawah dari rentang kadar air dimana tanah masih bersifat plastis berturut-turut disebut batas cair (*LL*) dan batas plastis (*PL*). Rentang kadar air itu sendiri didefinisikan sebagai indeks plastisitas (*PI*), seperti pada Persamaan 3.1 berikut ini.

$$PI = LL - PL \quad (3.1)$$

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair (*LL*) dan batas plastis (*PL*) dan tanah masih bersifat plastis.

Menurut *Unified Soil Classification System (USCS)* salah satu contoh tanah butir halus adalah tanah ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu tanah

butir halus yang sifat plastisnya rendah ($LL < 50\%$) dan sifat plastisnya tinggi ($LL > 50\%$), kemudian simbol tanah butir halus ditetapkan dengan menggunakan plastisitas Casagrande didapat CH, MH, OH, CL, ML dan OL, dengan data LL dan PI diplotkan dalam diagram, lalu dilihat secara analisis $LL < 50\%$ atau $LL > 50\%$ selanjutnya dihitung PI batas = $0,73 (LL-20)$, jika $PI > PI$ batas berarti di atas garis A dan sebaliknya. Selain garis A, terdapat pula garis U yang merupakan batas dari hubungan antara indek plastisitas dan batas cair untuk suatu tanah. Garis U mengikuti persamaan garis lurus $PI = 0,9 (LL-8)$ seperti **Gambar 3.4** berikut ini.



Gambar 3.4 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah USCS

(Sumber : Sukirman, 1999)

Indeks Plastisitas (PI) menunjukkan sifat keplastisan tanah. Batas mengenai plastisitas, sifat dan macam tanah dapat dilihat pada **Tabel 3.2** dibawah ini.

Tabel 3.2 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

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

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

3. Berat Jenis (*Specific Gravity = G_s*)

Berat jenis (G_s) bertujuan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lolos saringan no.4, no.10 dan no.40 dengan piknometer, yang mana hasil perbandingan antara berat butiran padat (γ_s) dengan berat volume air suling (γ_w) dengan isi yang sama pada temperatur 25°C seperti pada Persamaan 3.4 berikut ini.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.2)$$

Berat jenis (G_s) tidak berdimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tidak berkohesi atau tanah granular, sedangkan untuk tanahtanah tidak kohesif tidak mengandung bahan organik G_s berkisar diantara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam **Tabel 3.3** berikut ini.

Tabel 3.3 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Macam Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Organik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,28

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

4. Kepadatan Tanah (*Proctor Standart*)

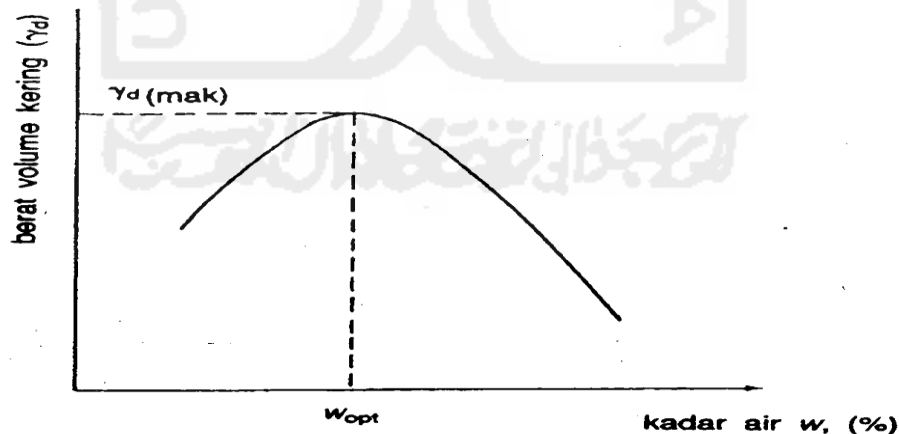
Untuk menentukan hubungan kadar air dengan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Menurut *Proctor (1933)* (dalam Hardiyatmo, 2006), telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah 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) dan kadar air (w) dinyatakan dalam Persamaan 3.3 berikut.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.3)$$

Karakteristik kepadatan tanah dapat di nilai dari pengujian standar di laboratorium yang disebut standar *Proctor*. Prinsip pengujian menggunakan pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Tanah didalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,50 kg dengan tinggi jatuh 30,50 cm. Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali.

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Grafik yang dihasilkan pada **Gambar 3.5** dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan kering maksimum (γ_{dmaks}). Parameter kepadatan ini berguna untuk bahan sampel pengujian *California Bearing Ratio* (CBR).



Gambar 3.5 Grafik Pada Pengujian Proktor Standar
(Sumber : Hardiyatmo, 2006)

5. *California Bearing Ratio* (CBR)

Menurut Sukirman (1999), harga CBR adalah nilai daya dukung tanah yang telah dipadatkan dengan pemadatan pada kadar air tertentu dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Dengan demikian besaran CBR adalah prosentase atau perbandingan daya dukung tanah yang diteliti dibandingkan dengan daya dukung batu pecah standar pada nilai penetrasi yang sama (0,1 *inch* dan 0,2 *inch*). Nilai CBR dihitung pada penetrasi = 0,1” pada Persamaan 3.4 dan 0,2” pada Persamaan 3.5 sebagai berikut ini.

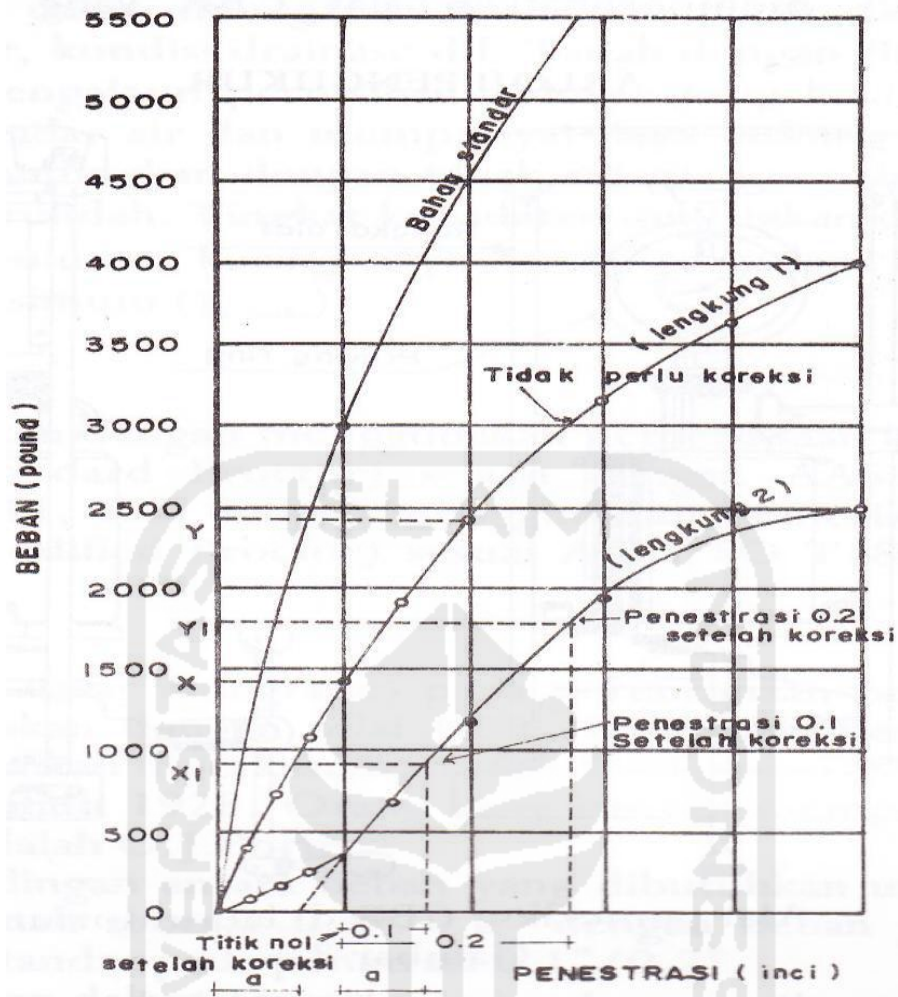
- a. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi (0,1”) terhadap penetrasi standar.

$$\text{CBR} = \frac{P_1}{3000} \times 100\% \quad (3.4)$$

- b. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi (0,2”) terhadap penetrasi standar.

$$\text{CBR} = \frac{P_2}{4500} \times 100\% \quad (3.5)$$

Dari kedua perhitungan tersebut digunakan nilai yang terbesar (Dir. Jen. Bina Marga, 1976). Grafik contoh hasil pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 3.6** berikut ini.



Gambar 3.6 Grafik Hasil Pengujian CBR

(Sumber : Soedarmo dan Purnomo, 1997)

Keterangan :

$P_1 = X =$ Pembacaan pada kurva pada penetrasi 0,1”

$P_2 = Y =$ Pembacaan pada kurva pada penetrasi 0,2”

The Asphalt Institute (Fernandez, 2011) menyusun kriteria umum dengan batasan nilai CBR untuk material *subgrade* seperti dijelaskan pada **Tabel 3.4** Kriteria Nilai CBR Material *Subgrade* dibawah ini.

Tabel 3.4 Kriteria Nilai CBR Material *Subgrade*

Nilai CBR (%)	<i>The Aspalt Institute</i>
20 – 30	<i>Excelent</i>
10 – 20	<i>Good</i>
5 – 10	<i>Medium</i>
< 5	<i>Poor</i>

(Sumber : Fernandez, 2011)

CBR dapat diuji pada 2 kondisi yaitu kondisi tidak direndam dan kondisi rendaman. Umumnya harga CBR rendaman lebih rendah dibandingkan dengan CBR tidak direndam, namun demikian kondisi rendaman adalah kondisi yang sering dialami dilapangan, sehingga dalam perhitungan konstruksi, harga CBR rendaman yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena pada kenyataannya air selalu mempengaruhi bangunan.

CBR rendaman berhubungan dengan pengujian pengembangan (*swelling*). Pengembangan adalah proses bertambahnya ukuran sample tanah yang diakibatkan penambahan air pada sampel tanah karena proses perendaman. Nilai pengembangan (*swelling*) dihitung berdasarkan persentase dari tinggi setelah perendaman terhadap tinggi sampel sebelum perendaman seperti pada Persamaan 3.6 berikut ini.

$$Swelling = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \times 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan :

h1 = tinggi sampel tanah semula

h2 = tinggi sampel tanah setelah perendaman

Menurut Snethen, 1984 (dalam Hardiyatmo, 2006) menyarankan potensi pengembangan yang diterapkan harus mempertimbangkan adanya beban luar. Dengan menggunakan kriteria Snethen klasifikasi pengembangan tanah dapat diperlihatkan pada **Tabel 3.5** berikut ini.

Tabel 3.5 Klasifikasi Pengembangan Tanah

Potensi Pengembangan (%)	Klasifikasi Pengembangan
< 0,5	Rendah
0,5 – 1,5	Sedang
> 1,5	Tinggi

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

