

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Definisi Tanah

Menurut pandangan ahli teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang lepas (*loose*), yang terletak diantara batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antar butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya.

Menurut Das (1985), tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan berasal dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat air dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan, tetapi istilah yang sama juga digunakan dalam menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang bersifat tidak kohesif dan tidak plastis (Hardiyatmo, 2002).

3.1.2 Tanah Pasir

Secara umum, tanah pasir merupakan tanah yang memiliki ukuran partikel batuan berukuran 0,0074 mm sampai 5 mm, untuk pasir kasar berkisar dari 5 mm sampai 3 mm, dan pasir halus memiliki ukuran dibawah 1 mm (<1 mm). Tanah pasir adalah jenis tanah yang bersifat non kohesif (*cohesionless soil*).

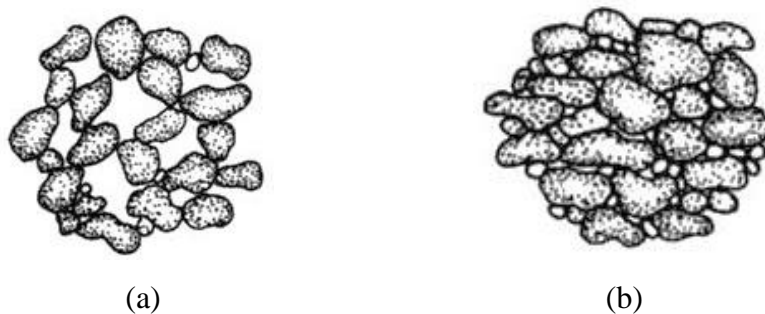
Menurut Bowles (1986), tanah non kohesif adalah tanah yang apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada

dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan didalam air. Tanah non kohesif mempunyai sifat antara butiran lepas (*loose*), hal tersebut ditunjukkan dengan butiran tanah yang akan terpisah-pisah apabila dikeringkan, sehingga tanah tersebut perlu dilakukan upaya perbaikan agar dapat memperbaiki sifat-sifat tanah agar lebih baik.

Struktur tanah pasir pada umumnya dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu struktur butir tunggal (*Single-grained*) dan struktur sarang lebah (*Honeycombed*) (Das, 1985).

Pada struktur butir tunggal (*Single-grained*) butiran tanah berada dalam posisi stabil dan tiap-tiap butir bersentuhan antara satu dengan yang lain (dapat dilihat pada Gambar 3.1). Bentuk dan pembagian ukuran butiran tanah serta kedudukannya mempengaruhi sifat kepadatan tanah. Untuk satu susunan yang amat lepas, angka pori 0,91 tetapi angka tersebut berubah menjadi 0,35 jika susunan pasir mengalami pemadatan.

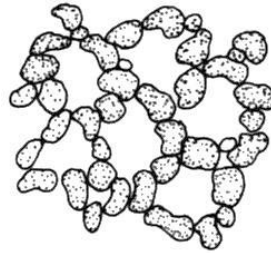
Pada struktur sarang lebah (*honey combed*), tanah membentuk lengkungan-lengkungan kecil hingga merupakan rantai butiran (Dapat dilihat pada Gambar 3.2). Tanah yang dengan struktur sarang lebah mempunyai angka pori besar dan biasanya dapat memikul beban statis yang tidak begitu besar, jika struktur tersebut dikenai beban berat atau beban getar struktur tanah akan rusak dan menyebabkan penurunan yang besar



Gambar 3.1 Struktur Butiran Tunggal

(a) tidak padat, (b) padat

(Sumber: Das, 1985)



Gambar 3.2 Struktur Sarang Lebah

(Sumber: Das, 1985)

Tanah yang bersifat non kohesif tidak mempunyai garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah tersebut tidak plastis untuk semua nilai kadar air, akan tetapi dalam beberapa kondisi tertentu, tanah non kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental (Bowles, 1986).

3.1.3 Sifat Fisik Tanah

Sifat butiran tanah dapat mempengaruhi analisa granuler dan sebagainya, sedangkan berdasarkan sifat dan permukaannya tanah dapat diketahui asal dari butirannya. Tanah umumnya terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya terdiri dari dua bagian yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri atas tiga bagian yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara dan air pori. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,62 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,8

Sumber: Hardiyatmo (2002)

3.1.4 Tanah Dasar

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan lapisan tanah paling dasar yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Tanah dasar (*subgrade*) dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain, ataupun tanah yang distabilisasi (dengan semen, kapur dan lain lain).

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya permasalahan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut ini.

1. Perubahan bentuk secara tetap (deformasi permanen) dari jenis tanah tertentu akibat beban yang melaluinya.
2. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air atau adanya udara.
3. Daya dukung tanah tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.

Tanah dasar yang mempunyai kekuatan dan stabilitas yang rendah akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami deformasi dan retak. Tanah dengan sifat yang kurang baik sangat tidak ekonomis dan tidak mendukung apabila dijadikan sebagai tanah dasar suatu konstruksi bangunan sipil. Oleh sebab itu perlu dilakukan stabilisasi untuk memperbaiki tanah baik secara mekanis maupun kimiawi. Daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase, dan lain-lain. Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk perencanaan tebal perkerasan jalan ditentukan dengan pemeriksaan *CBR* dengan nilai minimal *CBR* sebesar 6% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga.

3.1.5 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi Tanah adalah pemilihan tanah-tanah kedalam kelompok ataupun sub kelompok yang menunjukkan sifat yang sama. Sebagian besar sistem klasifikasi yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan atas

distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lainnya), pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu.

Sistem klasifikasi yang sering digunakan adalah sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem *USCS* (*Unified Soil Classification System*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

1. Klasifikasi *AASHTO*

Sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association Of State Highway And Transportation Officials Classification*) ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem kualifikasi ini berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*.

Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompok dievaluasi terhadap indeks kelompoknya. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Sistem klasifikasi *AASHTO* dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)							
	A-1		A-3	A-2				
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	
Analisis Ayakan (% lolos)								
No.10	Maks 50							
No.40	Maks 30	Maks 50	Min 51					
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	
Sifat Frasaksi yang lolos ayakan No.40								
Batas Cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	
Tipe Material yang paling dominan	Batu Pecah, kerikil dan pasi		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							
Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							
	Klasifikasi Kelompok	A-4		A-5		A-6		A-7
Analisis Ayakan (% lolos)								
No.10								
No.40								
No.200	Min 36		Min 36		Min 36		Min 36	
Sifat Frasaksi yang lolos ayakan No. 40.								
Batas Cair (LL)	Maks 40		Min 41		Maks 40		Min 41	
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10		Maks 10		Min 11		Min 11	
Tipe Material yang paling dominan	Tanah Berlanau				Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa Sampai Jelek							

Sumber: Das (1985)

Indeks kelompok (GI) digunakan untuk memeriksa lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (3.1)$$

Keterangan:

GI = Indeks kelompok (*group index*),

F = Persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm),

LL = Batas cair (*Liquid limit*), dan

PI = Indeks plastisitas.

Indek kelompok (GI) digunakan untuk dapat membedakan kemampuan tanah dasar dalam memikul beban roda, *AASHTO* memperkenalkan Indeks Kelompok atau *Group Index* (GI) yang merupakan fungsi dari persentase tanah yang lolos saringan No.200 dan batas Atterberg. Bila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler yang bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan no. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7 yaitu tanah lempung lanau.

2. Klasifikasi *USCS*

Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* diperkenalkan oleh Cassagrande pada tahun 1942 yang selanjutnya disempurnakan oleh *USBR* (*United State Bureau of Reclamation*). Pada sistem klasifikasi *Unified (Unified Soil Classification System)*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50 % lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50 % lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok. Menurut Das (1985), Sistem klasifikasi *USCS* mengelompokkan tanah ke dalam dua jenis kelompok besar, yaitu.

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir 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*) dan S adalah untuk pasir (*Sand*).
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu tanah yang 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.

Berikut simbol-simbol yang digunakan dalam sistem *USCS* adalah;

G	= Kerikil (<i>gravel</i>)
S	= Pasir (<i>sand</i>)
C	= Lempung (<i>clay</i>)
M	= Lanau (<i>silt</i>)
O	= Lanau atau Lempung Organik (<i>organic silt or clay</i>)
Pt	= Tanah Gambut dan Tanah Organik Tinggi
W	= Gradasi baik (<i>well graded</i>)
P	= Gradasi buruk (<i>poorly graded</i>)
H	= Plastisitas tinggi (<i>high plasticity</i>)
L	= Plastisitas rendah (<i>low plasticity</i>).

Klasifikasi kelompok dan subkelompok yang lebih detail pada sistem *USCS* dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200 Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No.4	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No.4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran, kerikil-pasir-lanau	
			GC	Kerikil berlempung, campuran, kerikil-pasir-lempung	
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No.4	Pasir bersih (hanya Pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
			Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus; Kurang dari 5% lolos saringan no. 200: GM, GP, SW, SP, Lebih dari 12% lolos saringan no.200: GM, GC, SM, SC, 5% -12% lolos saringan No.200 :Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol doble		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
			Batas-batas Atterberg di garis A atau $PI < 4$		Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW			
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$		Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol			
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No.200	Lanau dan lempung batas $\leq 50\%$	ML	Lanau organik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung		
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clay</i>)		
		OL	lanau -organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "genuk" (<i>fat clay</i>)		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
		Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.		<p>Garis A : $PI = 0.73 (LL-20)$</p>	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber: Das (1985)

3.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah atau usaha untuk merubah dan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis (Hardiyatmo, 2010).

Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain atau pencampuran tanah dengan bahan-bahan tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis pada tanah dapat menjadi lebih baik. Metode stabilisasi diharapkan dapat merubah sifat-sifat teknis seperti kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan pengerjaan, potensi kembang dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air.

Umumnya stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi

3.2.1 Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk dan menggantinya dengan material tanah ditempat lain. Menurut Lambe (1962) dalam buku Hardiyatmo (2010) yang berjudul *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah, yaitu sebagai berikut.

1. Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan
2. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah.

3.2.2 Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara penambahan bahan tambah atau bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat kurang menguntungkan dari tanah. Bahan tambah (*additive*) adalah bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti: kekuatan, tekstur, kemudahan pengerjaan (*workability*) dan plastisitas. Bahan tambah yang banyak digunakan di antaranya seperti semen portland, kapur, abu batubara (*fly ash*), aspal (*bitumen*), dan lain-lain. Metode ini biasanya digunakan pada tanah berbutir halus.

3.3 Aspal (*Bitumen*)

3.3.1 Pengertian Aspal

Aspal atau *bitumen* adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal tampak padat pada suhu ruang padahal adalah cairan yang sangat kental. Aspal merupakan jenis bahan yang sangat kompleks, dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Atom-atom selain hidrogen, dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain.

Menurut SNI 03-1737-1989, aspal keras didefinisikan sebagai suatu jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat, sedangkan aspal cair didefinisikan sebagai aspal minyak yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair.

3.3.2 Aspal Cair *Medium Curing*

Menurut SNI 4799-2008, Aspal cair dengan tipe penguapan sedang atau *medium curing* merupakan campuran antara aspal keras dengan pelarut hasil persilangan minyak bumi jenis minyak tanah (kerosen) yang mempunyai daya penguapan sedang. Aspal cair tipe penguapan sedang (MC) biasanya dibagi menjadi 5 kelas yaitu kelas MC 30, kelas MC 70, kelas MC 250, kelas MC 800 dan kelas MC 3000.

Ketentuan umum aspal cair menurut SNI 4799-2008 yaitu aspal yang digunakan harus berasal dari minyak bumi, memiliki sifat sejenis dan tidak mengandung air, sedangkan untuk ketentuan teknis, bila aspal cair dipanaskan sampai 175° C tidak akan terjadi pemisahan atau penggumpalan saat digunakan. Spesifikasi aspal cair yang digunakan harus sesuai ketentuan dalam standar.

Jenis pengujian untuk menentukan nilai aspal yaitu dilakukan meliputi: viskositas kinetis 60° C dan titik nyala *tag open cup*. Adapun persyaratan aspal cair tipe penguapan sedang (*medium curing*) dapat dilihat pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Persyaratan Aspal Cair Tipe Penguapan Sedang

No	Jenis pengujian	Satuan	MC 30		MC 70		MC 250		MC 800		MC 3000	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	Viskositas kinematis, 60°C	CSt	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
2	Titik nyala Tag open cup, °C	°C	38		38		66		66		66	
3	Kadar air	%		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2
4	Penyulingan	% total ini										
	- sampai temp 225 °C		-	25	0	20	0	10	-	-	-	-
	- sampai temp 260 °C		40	70	20	60	15	55	0	35	0	15
	- sampai temp 315°C		75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
	Sisa penyulingan sampai 360°C	% isi contoh	50	-	55	-	67	-	75	-	80	-
5	Pengujian pada sisa penyulingan											
	-Viskositas Absolut pada 60°C	Pa S (Pois)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)
	Daktilitas, 5cm/menit, 25 C	Cm	100		100		100		100		100	
	Kelarutan dalam Triclorehylen (TCE)	%	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
6	Uji Bintik dengan pelarut:											
	- Naptha Standar	Negatif semua kelas										
	-Naphtha-xylene, % xylen											
	-Hepthan-xylene, % xylen											
7	Kelekatan terhadap batuan Standar	%	80		80		80		80		80	

Sumber: SNI 4799-2008

3.4 Pemadatan Tanah (*Proctor Standard*)

Pemadatan tanah adalah suatu proses memadatkan partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Pemadatan dilakukan bila tanah dilapangan membutuhkan perbaikan untuk mendukung konstruksi di atasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan. Maksud dari pemadatan tanah adalah sebagai berikut;

1. menambahkan nilai kuat geser tanah,
2. mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
3. mengurangi sifat permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lainnya.

Kepadatan tanah tergantung pada nilai kadar air, saat air ditambahkan pada pemadatan, air ini melunakan partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tanah menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat. Jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya, bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah.

Uji pemadatan tanah atau *Proctor Standard* adalah metode laboratorium untuk menentukan eksperimental kadar air yang optimal dimana suatu jenis tanah tertentu akan menjadi paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum. Teori pemadatan pertama kali dikembangkan oleh R.R. Proctor. Empat variabel pemadatan tanah yang didefinisikan oleh Proctor, yaitu usaha pemadatan atau energi pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan lain-lain), kadar air, dan berat isi kering. Pemadatan standar (*standar compaction*) adalah usaha untuk memadatkan dengan alat pemadatan standar.

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_w) dan kadar air (ω), dinyatakan dalam Persamaan 3.2 berikut ini.

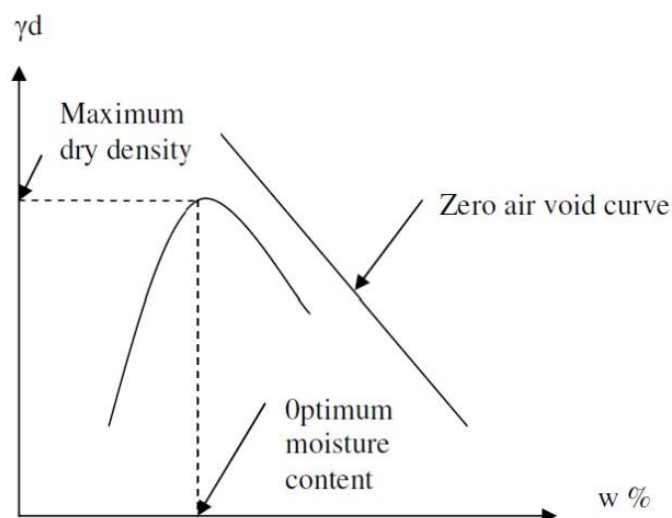
$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1 + \omega} \quad (3.2)$$

Prinsip Uji *Proctor Standard* adalah tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder dengan diameter 101,6 mm dan volume 943,3 cm³. Tanah dalam cetakan

dipadatkan menggunakan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Pemadatan tanah dilakukan dalam tiga lapisan dengan jumlah tumbukan tiap lapisan sebanyak 25 kali.

Hasil pengujian akan memperlihatkan kurva nilai kadar air optimum (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering paling besar atau kepadatan maksimum. Nilai kadar air rendah pada kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit untuk dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume air akan berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dipaksa keluar pada saat pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi dalam praktek, kondisi ini sulit dicapai.

Berikut contoh grafik hasil uji *proctor standard* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air

(Sumber: Das, 1985)

3.5 California Bearing Ratio (CBR)

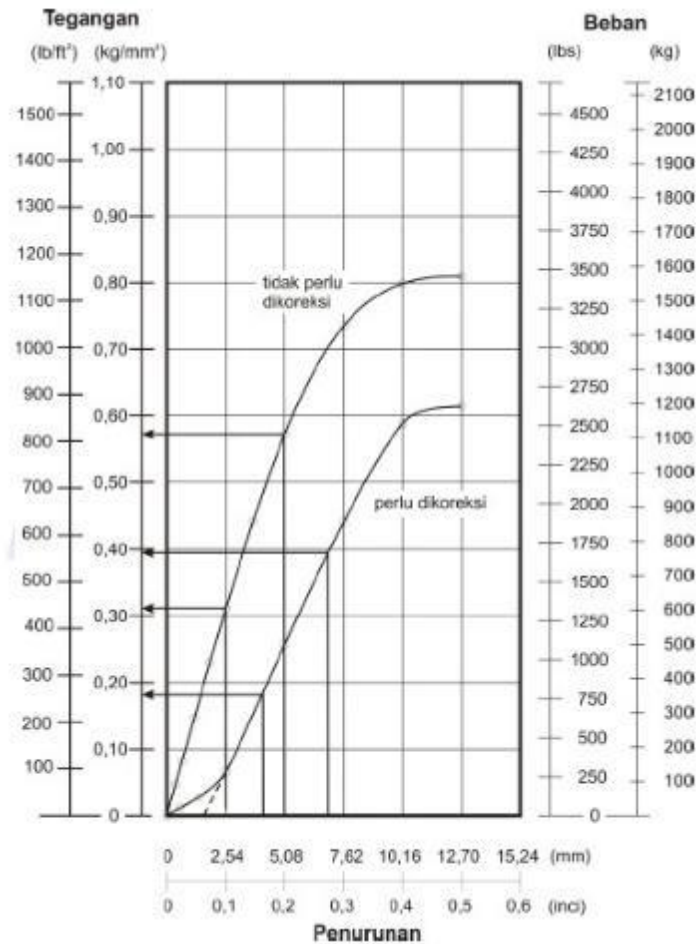
California bearing ratio adalah kelanjutan dari uji pemadatan tanah sehingga pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel tanah yang telah dipadatkan dengan pemadatan proktor. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai *CBR* atau daya dukung tanah pada kepadatan dan kadar air

tertentu. Dengan kata lain, harga *CBR* akan menentukan sejauh mana tanah dapat menahan beban struktur di atasnya.

Pengujian *CBR* dilaboratorium dilakukan dengan metode *soaked* dan *unsoaked* atau pemeraman sampel. Tujuan pada pengujian *CBR* dengan cara perendaman selama 4 hari dikarenakan disesuaikan dengan iklim cuaca di Indonesia yang sering terjadi hujan dan menyebabkan timbulnya genangan atau bahkan banjir, dengan menganalogikan kekuatan daya dukung tanah setelah tergenang banjir dengan waktu asumsi maksimal selama 4 hari. Sedangkan pada pengujian *CBR* dengan pemeraman sampel yaitu bertujuan untuk memberikan waktu proses reaksi kimia yang terjadi antara tanah dengan bahan tambah. Prinsip pengujian *CBR* yaitu sampel tanah ditekan dalam cetakan silinder dengan alat tekan standar berupa piston dengan kecepatan penetrasi 1,27 mm/menit.

Sampel tanah yang digunakan untuk benda uji pada pengujian *CBR* merupakan sampel tanah yang lolos saringan no. 4 kemudian dimasukkan ke dalam *mould* berbentuk silinder dengan diameter secara umum 152 mm kemudian dipadatkan dalam 3 lapisan, masing-masing lapisan ditumbuk dengan penumbuk standar sebanyak 56 kali. Pengujian benda uji *CBR* diletakkan benda uji beserta keping alas diatas mesin penetrasi dan letakan keping pemberat diatas permukaan benda uji seberat minimal 4,5 kg (10 pound). Arloji penunjuk penetrasi dan arloji penunjuk beban diatur sehingga menunjukkan angka nol. Berikan pembebanan secara teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit. Pembacaan pembebanan dilakukan pada interval penetrasi 0,025 inch (0,64 mm), hingga mencapai penetrasi 0,5 inch (12,7 mm).

Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji, maka didapat nilai kekuatan tanah dasarnya. Pada hasil pengujian permulaan kurva beban cekung akibat kurang rataanya permukaan pada saat pematangan benda uji atau sebab-sebab yang lain, dalam keadaan ini titik nolnya harus dikoreksi seperti pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Grafik Pengujian CBR

(Sumber: Das, 1985)

Berdasarkan grafik yang telah hasil pengujian, hitung harga *CBR* dengan membagi masing-masing beban dengan beban standar *CBR* pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi dan penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi dan dikalikan dengan 100%. Adapun cara untuk menentukan nilai *CBR* dapat dilihat pada Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4 sebagai berikut:

1. *CBR* pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi

$$CBR_{0,1"} = \frac{P_1}{3+1000} \times 100\% \quad (3.3)$$

2. *CBR* pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi

$$CBR_{0,2''} = \frac{P_1}{3+1500} \times 100\% \quad (3.4)$$

Pada umumnya nilai pengujian *CBR* diambil adalah penetrasi 0,1” atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi, namun pada keadaan tertentu bila nilai *CBR* pada penetrasi 0,1” lebih kecil dari pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm, maka pengujian harus diulang dan apabila pada pengujian kedua ini nilai *CBR* pada penetrasi 0,2” masih lebih besar dari *CBR* penetrasi 0,1” atau 2,54 mm, maka nilai *CBR* yang dipakai adalah nilai *CBR* terbesar yaitu penetrasi 0,2” atau 5,08 mm.

Klasifikasi tanah dasar berdasarkan nilai *CBR* dapat dilihat pada Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Klasifikasi Tanah Dasar Berdasarkan Nilai *CBR*

Nilai <i>CBR</i>	Kategori	Penggunaan	Klasifikasi	
			<i>USCS</i>	<i>AASHTO</i>
0–3	Sangat buruk	<i>Subgrade</i>	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3–7	Buruk sampai sedang	<i>Subgrade</i>	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7–20	Sedang	<i>Subgrade</i>	OL, CL, ML	A2, A4, A5, A7
20–50	Baik	<i>Base, Subgrade</i>	Gravel	A1, A2-5, A2-6
> 50	Sangat baik	<i>Base</i>	Gravel	A1, A2, A3

Sumber: Das (1985)

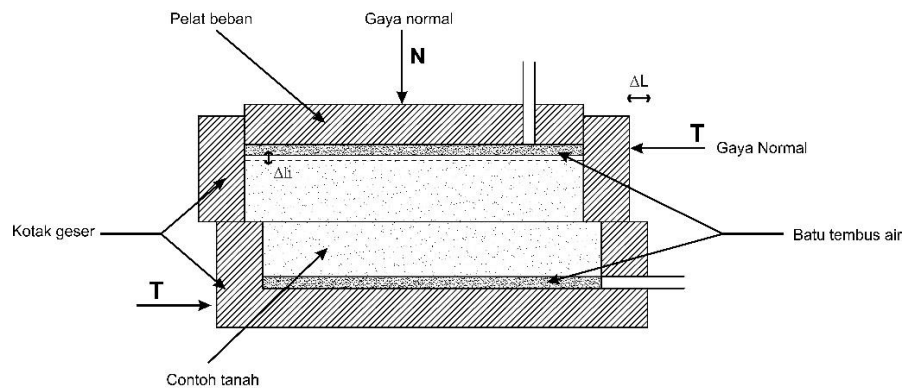
3.6 Uji Geser Langsung

Paramater kuat geser tanah diperlukan untuk menganalisis daya dukung tanah, stabilisasi lereng dan tegangan dorong untuk dinding penahan tanah. Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Atas dasar pengertian tersebut, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi dan gesekan tanah.

1. Kohesi tanah tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada bidang geserannya.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang geserannya.

Pengujian geser langsung adalah salah satu pengujian yang bertujuan untuk menentukan parameter kuat geser tanah yang berupa nilai kohesi dan sudut geser. Peralatan pengujian geser langsung yaitu kotak geser dari besi yang berfungsi sebagai wadah benda uji. Kotak geser tersebut terbagi menjadi dua bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atau dari bagian kotak geser untuk memberikan geseran pada bagian tengah-tengah benda uji (Hardiyatmo, 2010).

Peralatan pengujian geser langsung meliputi kotak geser dari besi, yang berfungsi sebagai tempat benda uji. Kotak geser tempat benda uji dapat berbentuk bujursangkar maupun lingkaran, dengan luas kira-kira 19,35 cm² sampai 25,8 cm² dengan tinggi 2,54 cm. Kotak terpisah menjadi 2 bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atas dari kotak geser, untuk memberikan geseran pada tengah-tengah benda uji. Skema dari pengujian kuat geser pada uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3.5 Alat Pengujian Geser Langsung

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Mohr pada tahun 1910 memberikan teori tentang kondisi keruntuhan suatu bahan. Keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Menurut Coulomb tahun 1776 kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (3.5)$$

dengan:

τ = kuat geser tanah (kN/m^2),

c = kohesi tanah (kN/m^2),

ϕ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$), dan

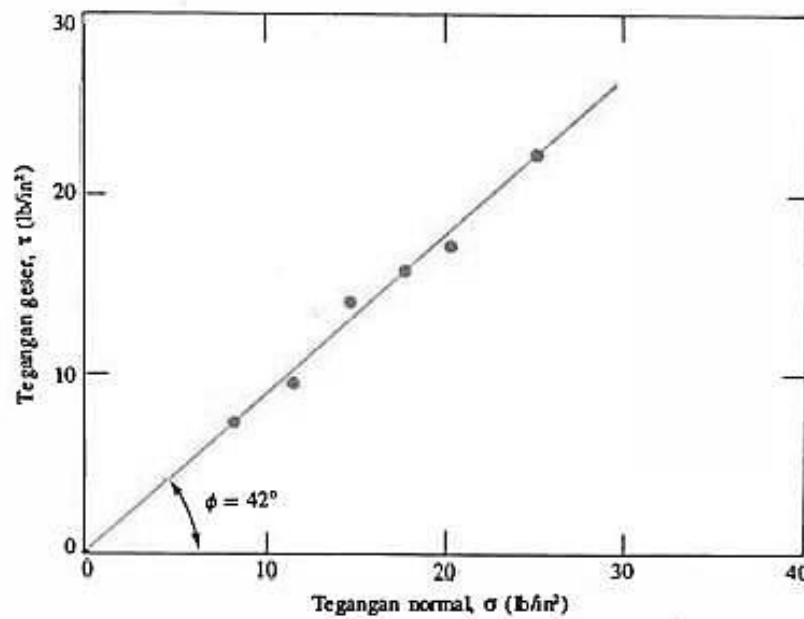
σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2).

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari uji-uji laboratorium pada benda uji yang diambil dari lapangan yaitu dari hasil pengeboran tanah yang dianggap mewakili. Kuat geser tanah dari benda uji yang diperiksa di laboratorium biasanya dilakukan dengan besar beban yang ditentukan lebih dulu dan dikerjakan dengan menggunakan tipe peralatan yang khusus. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya kuat geser tanah yang diuji di laboratorium adalah (Hardiyatmo, 2010);

1. kandungan mineral dari butiran tanah,
2. bentuk partikel,
3. angka pori dan kadar air,
4. sejarah tegangan yang pernah dialami,
5. tegangan yang ada dilokasi (di dalam tanah),
6. perubahan tekanan selama pengambilan contoh dari dalam tanah,
7. tegangan yang dibebankan sebelum pengujian,
8. cara pengujian,
9. kecepatan pembebanan,
10. kondisi drainase yang dipilih, drainase terbuka (*drained*) atau drainase tertutup (*undrained*),
11. tekanan air pori yang ditimbulkan, dan
12. kriteria yang diambil untuk penentuan kuat geser.

Pengujian geser langsung dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu tegangan geser terkendali dimana penambahan gaya geser dibuat konstan dan diatur, atau dengan cara tegangan terkendali dimana kecepatan geser yang diatur. Hasil pengujian geser langsung yaitu hubungan antara tegangan geser dan perubahan ketebalan dari sampel tanah akibat perpindahan geser tanah pasir lepas dan pasir padat dapat memperlihatkan sifat khusus pada tanah pasir padat, sedang, dan padat. Berikut contoh grafik pengujian geser langsung pada tanah pasir.

Menurut Hardiyatmo (2002), benda uji tanah pasir dikatakan pada nilai banding pori kritis, jika tercapai keadaan volume benda uji yang tetap tak berubah pada proses penggesernya. Pada tanah pasir, hanya kuat geser dengan pengujian drained, biasanya relevan dalam praktek. Contoh hasil pengujian geser langsung tanah seperti pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Grafik Hasil Uji Geser Langsung (Hubungan Antara Tegangan Geser dan Tegangan Normal)

(Sumber: Das, 1985)