

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Definisi Tanah

Menurut Hardiyatmo (2012) tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), terletak diatas batu dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi.

Menurut Wesley (1977) 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.

Tanah merupakan suatu lapisan sedimen lepas seperti kerikil, pasir, lempung, lanau, ataupun campuran dari bahan tersebut. Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan dan digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir adalah jenis tanah yang bersifat tidak kohesif dan tidak plastis.

3.1.2 Nama dan Sifat Tanah

Bowles (1991), menyatakan bahwa tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis yang terbagi kedalam beberapa jenis berikut :

1. berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*),

2. kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm,
3. pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm,
4. lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm,
5. lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif, dan
6. koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

3.1.3 Struktur Susunan Tanah

Susunan butiran tanah dapat bermacam-macam menurut jenis tanah berada dan proses tanah itu terjadi. Tanah yang terjadi ditempat kering atau basah, dalam air tawar atau air laut akan berlainan susunan butirannya. Pasir umumnya mempunyai butir yang lepas dan struktur butirannya tunggal. Sedangkan pada tanah yang pekat seperti lempung, sering ditemukan butir-butir yang berukuran kecil.

Sifat permukaan dan susunan mineral tanah terjadi akibat pembelahan oleh panas, hujan, dan angin atau reaksi kimia. Secara kimia terjadi dari dan dipisahkan dengan cara dipanasi asam "Hidrosilone" (HE) menurut reaksi dalam Persamaan 3.1.



Sifat dari butiran tanah dapat mempengaruhi analisa granuler dan sebagainya. Sedangkan berdasarkan sifat dan permukaannya dapat diketahui asal dari butirannya itu. Tanah umumnya terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdiri dari dua bagian yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam 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.

3.1.4 Sistem Klasifikasi Tanah

Menurut Bowles (1991), sistem klasifikasi tanah dibuat dengan tujuan untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah. Karena sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum berdasarkan kesamaan sifat fisik. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Beberapa sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*. Sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan USCS (*Unified Soil Classification System*).

1. Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *sub base*, dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 7 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada kriteria dibawah ini.

a. Ukuran butir

- 1) kerikil, yaitu bagian tanah yang lolos ayakan 3 inch (diameter 75 mm) dan yang tertahan pada ayakan No.10,
- 2) pasir, yaitu bagian tanah yang lolos ayakan No.10 (diameter 2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No.200 (0,075 mm), dan
- 3) lanau dan lempung, yaitu bagian tanah yang lolos ayakan No.200.

b. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*Placity Index*) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai jika bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

- c. Apabila batuan (ukuran diameter >75 mm) ditemukan didalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 3.1 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai. Kelompok dan subkelompok dalam sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official Classification*) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

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-1a	A-1b		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				
Indeks Plastisitas	6 maks		N.P	10 maks	10 maks	11 min	10 maks				
Indeks Kelompok	0	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 sebagian tanah dasar	Sangat baik sekali sampai baik							Sedang sampai buruk			

Sumber : Hardiyatmo (2012)

Catatan :

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5 ;

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6

Np = Non plastis

Selanjutnya, tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompok (*Group Index*, GI) yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Bila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Bowles (1991) menyatakan jika pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*. Indeks kelompok dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$GI = (F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(PI-10) \quad (3.2)$$

dengan :

GI = indeks kelompok (*group index*),

F = persen butiran lolos saringan No.200 (0,075 mm),

LL = batas cair, dan

PI = indeks plastisitas.

Suku pertama Persamaan 3.2, yaitu $(F-35)[0,2+0,005(LL-40)]$, adalah bagian dari indeks kelompok yang ditentukan dari nilai batas cair (LL). Suku kedua, yaitu $0,01(F-15)(PI-10)$, adalah bagian dari indeks kelompok yang ditentukan dari nilai indeks plastisitas (PI). Aturan dalam menentukan harga dari indeks kelompok adalah sebagai berikut :

- a. apabila Persamaan 3.2 menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol,
 - b. indeks kelompok yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.2 dibulatkan ke angka yang paling dekat (sebagai contoh: GI = 3,4 dibulatkan menjadi 3,0; GI = 3,5 dibulatkan menjadi 4,0),
 - c. indeks kelompok untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu sama dengan nol, dan
 - d. tidak ada batas atas untuk indeks kelompok (dalam Tabel 3.1 untuk tanah berlempung A-7, GI maksimum 20).
2. Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS
- Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik fondasi seperti bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini

biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan. Klasifikasi berdasarkan *Unified System*, tanah dikelompokkan menjadi 2 jenis sebagai berikut :

- a. tanah berbutir kasar adalah tanah yang >50% bahannya tertahan pada saringan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*), dan
- b. tanah berbutir halus adalah tanah yang >50% bahannya lolos pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Adapun simbol-simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah sebagai berikut :

- a. G = *gravel* (kerikil),
- b. S = *sand* (pasir),
- c. C = *clay* (lempung),
- d. M = *silt* (lanau),
- e. O = *organic silt or clay* (lanau atau lempung organik),
- f. Pt = *peat and highly organic soil* (tanah gambut dan tanah organik tinggi),
- g. W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik),
- h. P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk),
- i. L = *low plasticity* (plastisitas rendah, nilai LL < 50), dan
- j. H = *high plasticity* (plastisitas tinggi, nilai LL > 50).

Pengelompokkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium		
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar ter-tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus		
		Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus		Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW
			Kerikil banyak kandungan butiran halus	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	SM	Pasir berlanau, campuran pasir – lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir – lempung		
Lanau dan lempung batas cair > 50 %			ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung		
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (“lean clays”)			
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
Lanau dan lempung batas cair > 50 %		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis			
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (“fat clays”)				
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi				
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pt	Gambut (“peat”) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber : Hardiyatmo (2012)

3.1.5 Tanah Lempung

Terzaghi dan Peck (1987) menyatakan bahwa tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Sedangkan Hardiyatmo (2012) menyatakan bahwa tanah lempung memiliki ukuran butiran halus dengan diameter $<0,002$ mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat banyak mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung, diantaranya terdiri dari kelompok *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*.

Tanah lempung memiliki karakteristik apabila dalam keadaan kering, tanah ini sangat keras, bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada keadaan air yang lebih tinggi, tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Sifat kohesif dari lempung menunjukkan bahwa bagian-bagian tanah lempung melekat satu sama lainnya, sedang sifat plastis menunjukkan bahwa bagian-bagian tanah lempung tersebut berubah-ubah tanpa perubahan isi ataupun tanpa kembali ke bentuk yang asli.

Klasifikasi tanah lempung dengan potensi pengembangan dan penyusutan yang besar didasarkan pada besarnya nilai aktivitas tanah lempung dan nilai indeks plastisitasnya (PI) $>35\%$, selain itu nilai aktivitas tanah lempung juga dapat dipengaruhi oleh jenis mineral yang terkandung pada tanah tersebut. Semakin plastis mineral lempung maka semakin berpotensi untuk menyusut dan mengembang. Potensi pengembangan memiliki indeks plastisitas yang berbeda-beda, dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Potensi Pengembangan

Potensi Pengembangan	Pengembangan (Akibat tekanan 6.9 Kpa) (%)	Persen Koloid (<0.001 mm) (%)	PI (%)	Batas Susut SL (%)	Batas Cair LL (%)
Sangat Tinggi	>30	>28	>35	>11	>65
Tinggi	20 – 30	20 – 31	25 – 41	7 – 12	50 – 63
Sedang	10 – 20	13 – 23	15 – 28	10 – 16	39 – 50
Rendah	<10	<15	<18	<15	39

Sumber : Usman, T (2008)

3.1.6 Pasir

Menurut Seta (2006), pada dasarnya pasir memiliki sifat kebalikan dari tanah lempung. Sifat tersebut dapat berupa ukuran butir lebih besar, permeabilitas tinggi, bersifat sangat lepas (non kohesif). Dalam kemampuan berdeformasi, pasir bereaksi terhadap beban cepat seperti tertutupnya pori-pori dan padatnya butiran akibat pengaturan kembali. Deformasi atau perubahan bentuk pasir pada dasarnya plastis, dengan beberapa pemampatan elastis yang terjadi dalam butiran-butiran. Jumlah pemampatan dihubungkan dengan gradasi kerapatan relatif dan besarnya tegangan yang bekerja. Kepekaan dan terjadinya kerapatan pasir disebabkan getaran keras dan material-material yang siap dipadatkan. Kehancuran dapat terjadi pada butiran-butiran pada saat tegangan-regangan yang bekerja relatif rendah.

Suripin (2002) menyatakan bahwa pasir merupakan salah satu partikel tanah. Butir-butir pasir hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral, terutama kwartz. Ukuran butir-butir pasir sangat menentukan sifat dari pasir itu, sehingga distribusi ukuran butiran merupakan cara yang dapat dipakai dalam mengklasifikasikan pasir. ASTM 2487-06 membagi pasir kedalam tiga jenis sesuai dengan ukuran butirannya, yaitu sebagai berikut :

1. pasir berbutir kasar memiliki ukuran butiran 4,75 mm atau lolos saringan no.4 sampai dengan ukuran diameter >2 mm atau tertahan saringan no.10,

2. pasir berbutir sedang memiliki ukuran butiran 2 mm atau lolos saringan no.10 sampai dengan ukuran diameter $>0,425$ mm atau tertahan saringan no.40, dan
3. pasir berbutir halus memiliki ukuran butiran 0,425 mm atau lolos saringan no.40 sampai dengan ukuran diameter $>0,075$ mm atau tertahan saringan no.200.

Pasir yang terdiri dari satu ukuran butiran saja disebut bahan yang seragam. Apabila terdiri dari berbagai ukuran butiran mulai dari ukuran yang besar sampai yang terkecil maka disebut bahan yang bergradasi baik (*well graded*). Pada stabilisasi tanah, gradasi butir dari tanah yang dapat dilindas padat dan stabil dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Ketentuan Gradasi Agregat

Ukuran Ayakan		Persen Berat yang Lolos Untuk Agregat						
Inci (in)	Standar (mm)	Halus	Kasar			Gabungan		
			Ukuran nominal maksimum 1 1/2 in (40 mm)	Ukuran nominal maksimum 3/4 in (20 mm)	Ukuran nominal maksimum 3/8 in (10 mm)	Ukuran nominal maksimum 1 1/2 in (40 mm)	Ukuran nominal maksimum 3/4 in (20 mm)	Ukuran nominal maksimum 3/8 in (10mm)
2	50,0		100	-	-	100	-	-
1 1/2	37,5		85 – 100	100	-	95 – 100	100	-
3/4	20,0		0 – 25	85 – 100	-	45 – 80	95 – 100	-
1/2	14,0		-	0 – 70	100	-	-	100
3/8	10,0	100	0 – 5	0 – 25	85 – 100	-	-	95 – 100
3/16	5,0	89 – 100		0 – 5	0 – 25	25 – 50	35 – 55	30 – 65
No.8	2,36	60 – 100			0 – 5	-	-	20 – 50
No.16	1,18	30 – 100				-	-	15 – 40
No.30	600 μ m	15 -100				8 – 30	10 – 35	10 – 30
No.50	300 μ m	5 - 70				-	-	5 – 15
No.100	150 μ m	0 - 15				0 – 8*	0 – 8*	0 – 8*

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1984)

3.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan salah satu usaha yang dilakukan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah terutama pada tingkat kestabilannya. Bowles (1991) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan mekanis dan bahan campuran (*additive*). Menurut Ingles dan Metcalf (1992), proses stabilisasi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode sebagai berikut ini.

1. Stabilisasi Mekanis adalah stabilisasi yang dilakukan untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum. Stabilisasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis, seperti mesin gilas (*Roller*), benda berat yang dijatuhkan (*pounder*), ledakan (*explosive*), tekanan statis, dan sebagainya.
2. Stabilisasi Fisik adalah stabilisasi yang dilakukan untuk merubah sifat-sifat tanah dengan cara pemanasan (*Heating*), pendingin (*Cooling*) dan menggunakan arus listrik.
3. Stabilisasi Kimiawi adalah stabilisasi yang dilakukan dengan cara memberikan bahan kimia pada tanah sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan sifat-sifat tanah tersebut. Pencampuran kimia yang sering dilakukan seperti menggunakan semen *Portland*, kapur, *fly ash* dan lain-lain.

Secara umum dapat dikemukakan bahwa tujuan stabilisasi adalah untuk meningkatkan kinerja perkerasan. Karena kinerja perkerasan tidak semata-mata menyangkut kekuatan, maka dalam rangka memilih cara stabilisasi yang tepat harus diketahui alasan perlunya stabilisasi. Adapun beberapa alasan konvensional yang melatarbelakangi perlunya stabilisasi adalah sebagai berikut ini.

1. Kondisi tanah dasar yang jelek, stabilisasi tanah dasar adalah untuk meningkatkan mutunya sehingga tebal perkerasan dapat dikurangi.
2. Bahan lapis pondasi yang terbatas, diantara kasus bahan lapis pondasi marjinal yang kemungkinan sering dijumpai di lapangan adalah tingginya plastisitas bahan. Dalam hal tersebut, plastisitas dapat diturunkan dengan menambahkan kapur atau semen ke dalam bahan stabilisasi.
3. Pengendalian kadar air, beberapa bahan kimia dapat menahan air dalam tanah sehingga pada musim kemarau memungkinkan tanah mudah untuk dipadatkan. Pada kasus yang ekstrim, kemungkinan tanah dalam keadaan yang sangat basah sehingga sulit dipadatkan. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan bahan stabilisasi yang dapat mengeringkan tanah.
4. Mendapatkan bahan lapis pondasi yang lebih unggul. Penggunaan lapis pondasi yang unggul, misal lapis pondasi distabilisasi semen (*cement treated base*) dan lapis pondasi beton aspal sering kali diperlukan, baik pada perkerasan beton aspal maupun perkerasan beton semen. Lapis pondasi

tersebut dapat menyumbangkan kekakuan yang berarti terhadap perkerasan, sehingga perkerasan lebih tahan terhadap keruntuhan lelah.

Manfaat dari stabilisasi tanah adalah untuk merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti kapasitas dukung, kompreibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air. Agar tujuan dan manfaat dari stabilisasi tanah dapat tercapai, dalam pelaksanaannya harus memperhatikan beberapa faktor agar dapat memilih bahan stabilisasi yang sesuai sebagai berikut :

1. cuaca dan drainase,
2. penyelidikan perkerasan,
3. pengambilan contoh dan pengujian bahan,
4. penilaian awal terhadap jenis stabilisasi yang diperlukan, dan
5. pemilihan akhir jenis stabilisasi.

3.2.1 Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan

Stabilisasi tanah untuk perkerasan jalan berfungsi untuk memperbaiki kapasitas dukung tanah dasar (*subgrade*), sehingga dapat mengurangi tebal komponen lapis perkerasan tersebut. Beberapa bahan tambah yang digunakan dapat mengontrol kelembaban tanah, sehingga pelaksanaan pekerjaan lebih mudah. Stabilisasi juga dapat digunakan pada material lapis pondasi (*base*) dan pondasi bawah (*subbase*), tetapi karena pertimbangan tingginya intensitas beban dan abrasi yang akan dialami oleh lapis permukaan struktur perkerasan, maka stabilisasi tidak cocok dilakukan pada komponen lapis permukaan tersebut.

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1984) dalam mempersiapkan lapisan dasar konstruksi, terdapat beberapa syarat yang harus digunakan. Syarat-syarat stabilisasi tanah untuk lapis tanah dasar (*subgrade*) perkerasan jalan didasarkan atas fungsi dari setiap fraksi butir didalam tanah yang akan dikerjakan. Tujuannya agar mendapatkan tanah yang bergradasi baik (*well graded*). Fungsi butiran yang termasuk fraksi kasar adalah sebagai kerangka dari lapisan konstruksi dan meneruskan pengaruh gaya-gaya muatan kepada lapisan dibawahnya. Sedangkan fungsi butiran yang termasuk fraksi halus adalah sebagai pengisi ruangan kosong.

Biasanya ukuran butir maksimal tidak boleh melebihi 0,60 kali tebal lapisan yang dikerjakan.

3.3 Pasir Vulkanik Merapi

Menurut Tejoyuwono (1999), pasir merupakan fraksi anorganik tanah yang diameternya berukuran 2,00-0,02 mm. Pasir Vulkanik Merapi merupakan salah satu jenis pasir yang bergradasi baik dan memiliki kualitas bagus. Karena kandungan silika pada pasir ini dapat dijadikan sebagai bahan adsorben khususnya untuk penjernihan air serta dapat digunakan sebagai pasir beton. Menurut hasil penelitian Sudaryo dan Sutjipto (2009) dengan menggunakan analisis aktivasi neutron cepat, kandungan logam dalam tanah vulkanik disekitar wilayah Merapi yaitu untuk logam Al berkisar 1,8-5,9%, Mg sebesar 1-2,4%, Si sebesar 2,6-2,8%, dan Fe sebesar 1,4-9,3%.

Sedangkan Lasino dkk. (2011) menyatakan bahwa Pasir Vulkanik Merapi merupakan jatuhan piroklastik dari Gunung Merapi. Jatuhan piroklastik berupa hujan abu/pasir vulkanik terjadi saat letusan dan menyebar ke segala arah sesuai dengan arah hembusan angin. Kandungan kimia sampel pasir yang bercampur dengan abu vulkanik merapi yaitu SiO₂ sebesar 63,90%, Al₂O₃ sebesar 17,67%, CaO sebesar 7,10%, Na₂O₃ sebesar 3,27%, MgO, K₂O, Fe₂O₃, dan SO₃ yang masing-masing kurang dari 3%. Kandungan terbesar adalah silika yang merupakan unsur utama dalam pembentukan semen. Selain itu, suatu bahan akan mengalami reaksi *pozzoland*, salah satunya apabila mengandung jumlah SiO₂+Al₂O₂+Fe₂O₃ minimum 70% (ASTM C.618). Sehingga, pasir yang bercampur dengan abu vulkanik Gunung Merapi mempunyai sifat pozzolanik yaitu sifat yang bertambahnya waktu, maka bahan tersebut apabila bereaksi dengan alumina (Al₂O₃) dan CaO yang ada dilempung organik akan menjadi bertambah keras.

3.4 Gypsum

Gypsum adalah batu putih yang terbentuk karena pengendapan air laut. Gypsum merupakan mineral terbanyak dalam batuan sedimen, lunak bila murni. Sanusi (1986) dalam Banurea (2011) menyatakan bahwa gypsum adalah suatu

senyawa kimia yang mengandung dua molekul hablur dan dikenal dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Kalsium Sulfat). Gypsum Sintetis ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sangat berguna sebagai bahan industri karena mempunyai sifat mudah larut dalam hidrasi air ketika dipanaskan dan ketika air ditambahkan akan kembali pada hidrat semula, mengumpulkan dan memperkeras hasil Gypsum.

Secara teknik, Gypsum disebut sebagai zat kapur sulfat. Kurniawan dkk. (2014) menyatakan beberapa pengaruh positif gipsum pada tanah lempung ekspansif, yaitu sebagai berikut :

1. gipsum dapat meningkatkan stabilitas tanah karena mengandung kalsium yang mampu mengikat tanah lempung ekspansif yang dipengaruhi oleh agregat tanah,
2. gipsum yang dicampur pada tanah lempung ekspansif dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah dapat tergantikan oleh kalsium pada gipsum sehingga pengembangannya menjadi lebih kecil, dan
3. gipsum mampu meningkatkan kecepatan rembesan air karena gipsum lebih menyerap banyak air.

3.5 Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik tanah adalah sebagai pertimbangan untuk merencanakan dan melaksanakan pembangunan suatu konstruksi. Sampel tanah yang disiapkan adalah tanah lempung pada kondisi tidak terganggu (*undisturbed*) dan sampel tanah terganggu (*disturbed*), untuk sampel tanah tidak terganggu masih didalam tabung sedangkan untuk sampel tanah terganggu dimasukkan didalam karung kemudian bongkahan tanah yang didalam karung dikeringkan, setelah sampel tanah terganggu dikeringkan kemudian tanah diayak dengan saringan No.40. Setelah semua sampel tanah siap kemudian mulai melakukan pengujian sifat fisik tanah.

3.5.1 Kadar Air (*Moisture Content/Water Content*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air sampel tanah. Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air dinyatakan dalam Persamaan 3.3.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan :

w = kadar air (%),

W_w = berat air (gram), dan

W_s = berat kering tanah (gram).

3.5.2 Berat Volume Kering (*Dry Density*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah. Berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung didalamnya dengan volume tanah total. Berat volume kering dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.4)$$

dengan :

γ_d = berat volume kering tanah (gram/cm³),

W_s = berat kering tanah (gram), dan

V = volume tanah total (cm³).

3.5.3 Berat Jenis

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah dengan menggunakan Picknometer, berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5°C. Berat jenis dinyatakan dalam Persamaan 3.5.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.5)$$

dengan :

G_s = berat jenis,

γ_s = berat volume butiran padat, dan

γ_w = berat volume air.

Menurut Hardiyatmo (2012), nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tidak berkoheisi atau tanah granular, sedang untuk tanah-tanah kohesif tidak mengandung bahan organik G_s berkisar di antara 2,68 sampai 2,72. G_s tidak memiliki dimensi, nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 - 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 - 1,80

Sumber : Hardiyatmo (2012)

3.5.4 Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk menentukan gradasi atau pembagian butir agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil, akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi. Hasil dari pengujian ini berupa penentuan persentase berat butiran pada suatu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Adapun susunan suatu unit saringan beserta ukuran diameter lubangnya dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Susunan Satu Unit Saringan Beserta Diameternya (Standar Amerika)

No. Saringan	Bukaan / Diameter Saringan (mm)
3	6,35
4	4,75
10	2
20	0,85
40	0,425
60	0,25
140	0,106
200	0,075
pan	-

Sumber : Hardiyatmo (2012)

3.5.5 Hidrometer

Pengujian analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir tanah dalam air. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan No.10. Metode ini menggunakan Hukum Stokes, yaitu butiran dimasukkan kedalam larutan, butiran yang besar kecepatan pengendapannya lebih cepat dibanding butiran yang halus. Kecepatan pengendapan butiran dapat diperoleh dari Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7.

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.6)$$

$$K = \sqrt{\frac{30\mu}{Gs-1}} \quad (3.7)$$

dengan :

D = diameter butiran (mm),

L = kedalaman hidrometer (cm),

t = waktu pengendapan (menit),

K = konstanta yang dipengaruhi oleh Gs dan μ ,

μ = kekentalan air absolut (g.det/cm²), dan

Gs = gravitasi khusus.

3.5.6 Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg limit*)

Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*) memiliki tujuan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir halus serta memastikan karakter indeks propertis tanah. Batas *Atterberg* mencakup batas cair, batas plastis dan batas susut. Tanah yang berbutir halus umumnya mempunyai karakter plastis. Karakter plastis itu adalah kekuatan tanah yang disesuaikan dengan pergantian bentuk tanah sesudah bercampur dengan air pada volume yang tetap. Tanah dapat berupa cair, plastis, semi padat atau padat bergantung jumlah air yang bercampur pada tanah tersebut.

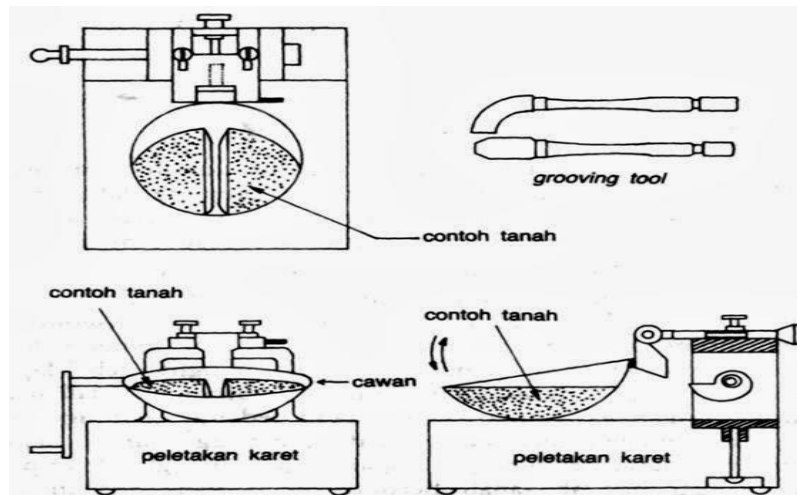
Batas *Atterberg* memperlihatkan terjadinya bentuk tanah dari benda padat sampai jadi cairan kental sesuai dengan kadar airnya. Dari tes batas *Atterberg* akan diperoleh parameter batas cair, batas plastis, batas susut serta batas kohesi yang disebut kondisi ketekunan tanah. Batas-batas *Atterberg* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Batas-Batas *Atterberg*

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

Kedudukan kadar air transisi bervariasi pada berbagai jenis tanah. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Bila kadar air tinggi, penambahan tanah dan air menjadi sangat lembek seperti cairan. Atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan menjadi empat keadaan yakni, padat, semi padat, plastis dan cair. Nilai kadar air dinyatakan dalam persen dalam pengujiannya untuk batas cair menggunakan alat yang dinamakan *Atterberg*.



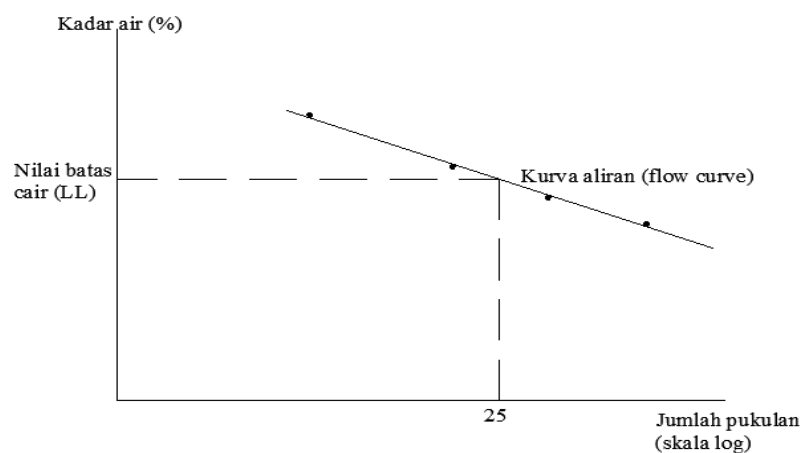
Gambar 3.2 Skema Alat Uji Batas Cair

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

Uji batas konsistensi (*Atterberg limit*) meliputi :

1. Batas Cair (ASTM D 4318-10)

Batas cair (*Liquid Limit, LL*) adalah nilai kadar air tanah dalam keadaan antara cair dan plastis. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan kadar air suatu sampel tanah pada batas cair. Batas cair ditentukan dari pengujian *Cassagrande* 1948. Dalam uji laboratorium batas cair merupakan kadar air pada 25 kali pukulan yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm. Hubungan kadar air dan jumlah pukulan untuk menentukan nilai batas cair pada pukulan 25 dapat digambarkan pada grafik seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kurva Pada Penentuan Batas Cair Tanah Lempung

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

2. Batas Plastis (ASTM D4318-10)

Batas plastis (*Plasticity Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak–retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2010). Batas plastis dinyatakan dalam Persamaan 3.8.

$$PL = \frac{W_p + W_k}{W_k} \times 100\% \quad (3.8)$$

dengan :

PL = batas plastis tanah,

Wp = berat tanah basah kondisi plastis, dan

Wk = berat tanah kering.

3. Batas Susut

Batas susut (*Shrinkage Limit, SL*) adalah keadaan kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dinyatakan dalam Persamaan 3.9.

$$SL = \left(\frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100\% \quad (3.9)$$

dengan :

SL = batas susut tanah,

Vo = volume benda uji kering,

Wo = berat benda uji kering, dan

Gs = berat jenis tanah.

4. Indeks Plastisitas (ASTM D4318-10)

Indeks plastisitas (*Plasticity Index, PI*) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas menyatakan kadar air dengan tanah tetap dalam kondisi plastis dan menyatakan jumlah relatif partikel lempung dalam tanah. Jika nilai PI tinggi, maka tanah banyak mengandung lempung. Sedangkan jika nilai PI rendah, hal ini menunjukkan terdapat kebanyakan lanau didalam tanah. Sedikit pengurangan kadar air mengakibatkan tanah menjadi kering.

Sebaliknya, bila kadar air sedikit bertambah, tanah menjadi cair. Indeks plastisitas dinyatakan dalam Persamaan 3.10.

$$PI = LL - PL \quad (3.10)$$

dengan :

PI = indeks plastisitas,

LL = batas cair, dan

PL = batas plastis.

Batasan mengenai indeks plastis, sifat tanah, macam tanah dan kohesinya terdapat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesi
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesi sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber : Hardiyatmo (2012)

3.6 Pemadatan Tanah

Menurut Wesley (1977), pemadatan tanah adalah suatu proses saat udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan salah satu cara mekanis. Untuk setiap daya pemadatan tertentu (*certain compactive effort*), kepadatan yang tercapai tergantung kepada banyaknya air didalam tanah tersebut, yaitu pada kadar airnya. Jika kadar air tertentu rendah, maka tanah itu keras atau kaku dan sukar dipadatkan. Sedangkan kadar air yang tinggi, kepadatannya akan turun lagi karena pori-pori tanah menjadi penuh terisi air yang tidak dapat dikeluarkan dengan cara memadatkan.

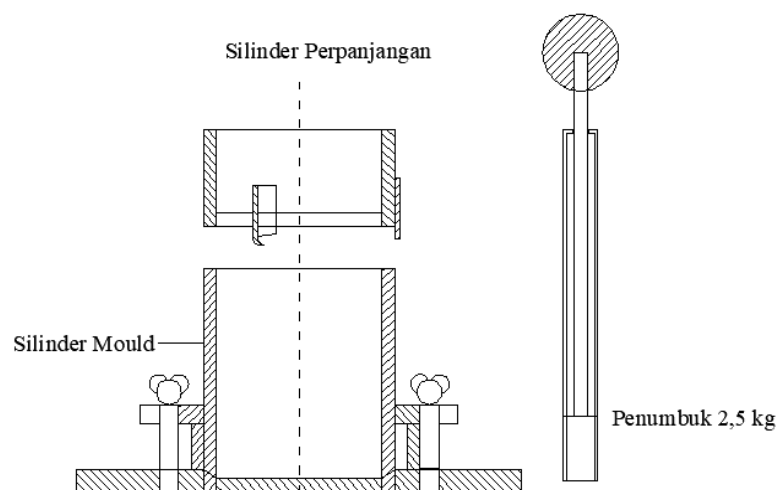
Menurut Hardiyatmo (2010), maksud dari dilakukan pemadatan sebagai berikut :

1. menaikkan kuat geser tanah,
2. mengurangi sifat mudah mampat,

3. mengurangi permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan air kadar air.

Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah meningkat. Pengaruh jenis tanah oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran tanah, berat spesifik bagian padat tanah, dan jumlah serta jenis mineral yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar terhadap nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum (kadar air saat nilai berat volume tanah kering maksimum) dari tanah tersebut.

Teori pemadatan pertama kalinya 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 sebagainya), kadar air, dan berat isi kering. Pemadatan standar (*standar compaction*) adalah usaha untuk memadatkan contoh tanah yang dilakukan dilaboratorium dengan menggunakan alat pemadatan standar.



Gambar 3.4 Alat Uji Proktor Standar

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

Berat volume kering tanah dapat dituliskan ke dalam Persamaan 3.11.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.11)$$

dengan :

γ_d = berat volume kering tanah (gr/cc),

γ = berat volume butir tanah (gr/cc), dan

w = kadar air (%).

Berat volume kering jenuh tanah dapat dituliskan ke dalam Persamaan 3.12.

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+wG_s} \quad (3.12)$$

dengan :

γ_d = berat volume kering tanah (gr/cc),

γ_w = berat jenis air,

G_s = berat spesifik butiran tanah padat, dan

w = kadar air (%).

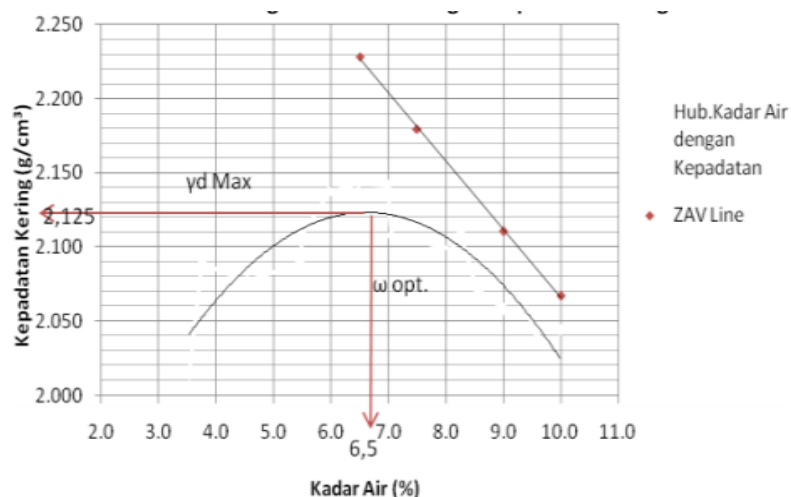
Aturan yang dapat dilakukan pada pemadatan standar dapat ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Aturan-Aturan Pemadatan Standar

No	Keterangan	Standar			
		Cara A	Cara B	Cara C	Cara D
1	Silinder Pemadatan	Kecil	Besar	Kecil	Besar
2	Material lolos saringan	No.4	No.4	3/4"	3/4"
3	Penumbuk	Standar	Standar	Standar	Standar
4	Jumlah lapisan	3	3	3	3
5	Jumlah tumbukan tiap lapis	25	56	25	56
6	Material siap ditumbuk yang perlu disediakan setiap kali	2,7 kg	6,4 kg	4,5 kg	10 kg

Sumber : Sudarmono dan Purnomo (1997)

Pada penelitian Tugas Akhir ini akan menggunakan aturan pemadatan standar dengan cara A. Adapun hasil yang didapatkan dari uji proktor ini adalah untuk mendapatkan kadar air optimum yang akan digunakan pada pengujian CBR. Grafik hasil uji proktor dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Kurva Uji Proktor Standar

(Sumber : Norhadi, 2015)

3.6.1 Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pemadatan

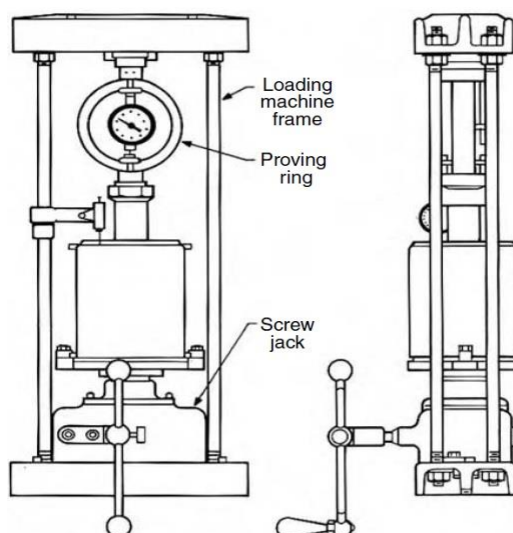
Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi hasil pemadatan adalah sebagai berikut ini.

1. Berat volume kering awal pada saat tanah sebelum dipadatkan. Tanah yang mempunyai berat volume kering awal lebih besar, setelah pemadatan akan mempunyai kepadatan yang sama.
2. Pengaruh kadar air, yaitu pada saat kadar air optimum tanah dapat dipadatkan hingga sangat padat pada energi pemadatan tertentu.
3. Pengaruh jenis tanah, seperti distribusi ukuran butir, bentuk butiran, berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya.
4. Pengaruh usaha pemadatan, yaitu suatu usaha pengukur energi mekanik yang diterapkan ke tanah. Pada pengujian di laboratorium, usaha pemadatan diberikan dengan menjatuhkan pemukul beberapa kali pada sampel tanah dalam *mould*. Jumlah lapisan pada saat pemadatan didalam *mould* yaitu 3

lapisan, akan tetapi jumlah pukulan pada tiap lapisan dibedakan, yaitu antara 20 sampai 50 kali pukulan. Kenaikan berat volume kering oleh pemadatan, bergantung pada kadar air tanah dan usaha pemadatan yang diterapkan. Dengan kadar air tertentu, kenaikan usaha pemadatan menghasilkan susunan partikel yang lebih rapat, sehingga nilai berat volume kering bertambah. Bila pemadatan dilanjutkan, volume udara yang tinggal didalam rongga pori berkurang pada suatu nilai tertentu dan pemadatan selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume yang berarti.

3.7 Pengujian *California Bearing Ratio Method (CBR Method)*

Pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* dimaksudkan untuk menentukan kekuatan tanah atau campuran agregat yang dipadatkan pada kadar air tertentu. CBR untuk pertama kalinya diperkenalkan oleh *California Division of Highways* pada tahun 1928. Menurut Sukirman (1995), CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1”/0,2” dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1”/0,2”. Gambar alat uji CBR Laboratorium dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Alat Pemeriksa Nilai CBR di Laboratorium

(Sumber : Sudarmono dan Purnomo, 1997)

Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inch dengan kecepatan 0,05 inch/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan *standard* tertentu dan diukur beban yang diperlukan untuk penetrasi. Cara perhitungan untuk mendapatkan nilai CBR adalah sebagai berikut :

1. hitung beban P dalam (lbs) sesuai dengan Persamaan 3.13.

$$\text{Beban P} = k \times \text{dial} \quad (3.13)$$

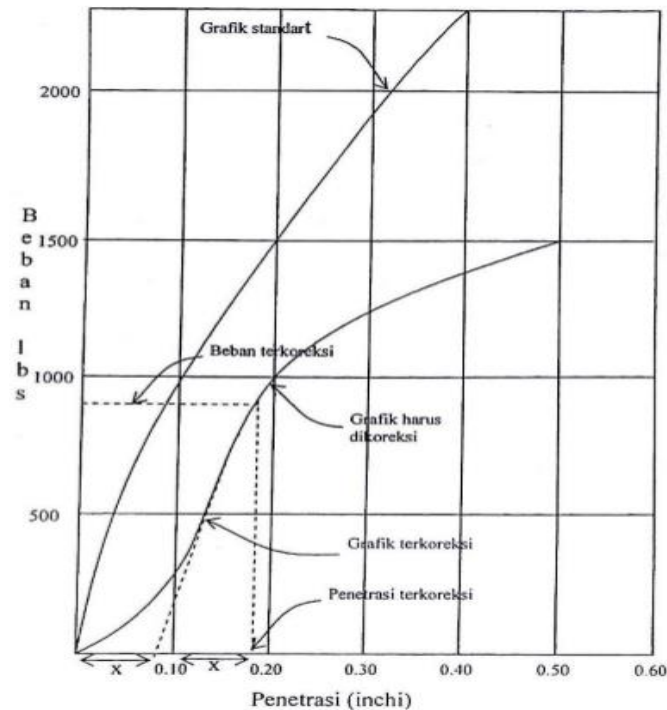
dengan :

k = nilai kalibrasi (lbs), dan

dial = pembacaan dial (div).

Kemudian gambar grafik beban P terhadap kedalaman penetrasi. Pada beberapa keadaan permulaan kurva beban cekung akibat kurang ratanya pemadatan atau sebab-sebab lain. Dalam keadaan ini titik nol nya harus dikoreksi, dan

2. dengan menggunakan grafik yang telah dibuat, hitung harga CBR dengan cara membagi masing-masing beban dengan beban standar CBR pada penetrasi 0,1 dengan beban standar $70,31 \text{ kg/cm}^2$ (1000 psi), penetrasi 0,2 dengan beban standar $105,47 \text{ kg/cm}^2$ (1500 psi) dan kalikan dengan 100%. Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1 inch. Apabila terjadi koreksi grafis, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi pada 2,54 mm (0,1 inch) dan 5,08 mm (0,2 inch).



Gambar 3.7 Grafik Standar Pengujian CBR di Laboratorium

(Sumber : Sudarmono dan Purnomo, 1997)

3.8 Pengembangan (*swelling*)

Identifikasi dan klasifikasi tanah lempung secara empiris dilakukan dengan menggunakan parameter hasil dari uji batas-batas *Atterberg*. Uji batas *Atterberg* yang diperlukan adalah batas cair dan batas plastis. Tanah dengan indeks plastisitas (PI) <15% tidak akan memperlihatkan perilaku pengembangan. Sedangkan tanah dengan PI >15%, kandungan tanah lempung harus dievaluasi disamping nilai-nilai batas konsistensi (*atterberg limit*) dengan identifikasi melalui uji pengembangan. Hubungan indeks plastisitas dengan potensi pengembangan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Hubungan Indeks Plastisitas dengan Potensi Pengembangan

Potensi Pengembangan	Indeks Plastisitas (%)
Rendah	0 - 11
Sedang	10 - 35
Tinggi	20 - 35
Sangat Tinggi	>35

Sumber : Fredlund, D.G dan Rahardjo, H., (1993)

Pengembangan (*swelling*) yang terjadi diukur pada pengujian CBR rendaman selama 4 hari. Perhitungan nilai pengembangan (*swelling*) dapat dilihat pada Persamaan 3.14.

$$Sw = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3.14)$$

dengan :

Sw = pengembangan (%),

ΔL = perubahan tinggi dibaca dari dial (mm), dan

L_0 = tinggi benda uji mula-mula (cm).

3.9 Konstruksi Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan lentur jalan terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan yang ada dibawahnya. Pemilihan material baik akan menimbulkan distribusi beban yang baik pula sehingga diharapkan beban lalulintas yang terdistribusi ke tanah besarnya tidak melebihi daya dukung tanah tersebut. Perlu dilakukan kajian yang lebih intensif dalam penerapannya dan memperhitungkan secara ekonomis, sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga konstruksi jalan yang direncanakan menjadi optimal. Berikut adalah lapisan perkerasan lentur yang biasa digunakan dalam konstruksi perkerasan lentur jalan, yaitu sebagai berikut ini.

3.9.1 Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) adalah lapisan tanah paling bawah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan diatasnya. Tanah dasar (*subgrade*) dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain, dan tanah yang distabilisasi.

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

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

3.9.2 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Lapis pondasi bawah berfungsi sebagai berikut :

1. bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke lapis tanah dasar. Lapis ini harus cukup stabil dan mempunyai CBR sama atau lebih besar dari 20%, serta Indeks Plastisitas sama atau lebih kecil dari 10%,
2. efisiensi penggunaan material yang relatif murah, agar lapis di atasnya dapat dikurangi tebalnya,
3. sebagai lapis peresap, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi,
4. sebagai lapis pertama, agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lancar sehubungan dengan kondisi lapangan yang harus menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda alat berat, dan
5. lapis filter untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi.

3.9.3 Lapis Pondasi (*Base Course*)

Lapis pondasi merupakan lapis perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Jika tidak digunakan lapis pondasi bawah, maka lapis pondasi diletakkan langsung diatas permukaan tanah dasar. Lapis pondasi memiliki beberapa fungsi, yaitu sebagai berikut :

1. bagian struktur perkerasan yang menahan gaya vertikal dari beban kendaraan dan disebarkan ke lapis dibawahnya,
2. lapis peresap untuk lapis pondasi bawah dan,
3. bantalan atau perletakkan lapis permukaan.

Material yang sering digunakan untuk lapis pondasi adalah material yang cukup kuat dan awet sesuai syarat teknik dalam spesifikasi pekerjaan. Lapis pondasi dapat dipilih lapis berbutir tanpa pengikat atau lapis aspal sebagai pengikat. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik. Berbagai-bagai bahan alam / bahan setempat (CBR >50%, PI <4%) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

3.9.4 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan merupakan lapis paling atas dari struktur perkerasan jalan, yang fungsi utamanya sebagai berikut :

1. lapis penahan beban vertikal dari kendaraan, oleh karena itu lapisan harus memiliki stabilitas tinggi selama pelayanan,
2. lapis aus (*wearing course*) karena menerima gesekan dan getaran roda dari kendaraan yang mengerem,
3. lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatas lapis permukaan tidak meresap ke lapis dibawahnya yang berakibat rusaknya struktur perkerasan jalan, dan
4. lapis yang menyebarkan beban ke lapis pondasi.

Lapis permukaan perkerasan lentur menggunakan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapis yang kedap air, berstabilitas tinggi, dan memiliki daya tahan selama masa pelayanan. Namun demikian, akibat kontak langsung dengan roda kendaraan, hujan, dingin dan panas, lapis paling atas cepat menjadi aus dan rusak, sehingga disebut lapis aus. Lapis dibawah lapis aus yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat disebut dengan lapis permukaan antara (*binder course*), berfungsi memikul beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapis pondasi.

3.10 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga Tahun 2013

Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 merupakan pengembangan dari manual sebelumnya dengan suatu pendekatan perencanaan dan desain yang dipakai untuk merencanakan struktur perkerasan jalan baru dan tebal lapis tambah pada suatu struktur perkerasan jalan. Selain itu, metode ini juga bertujuan untuk menanggulangi isu empat tantangan yang berkaitan dengan kinerja aset jalan. Empat tantangan terhadap kinerja aset jalan di Indonesia yang ada di dalam manual ini adalah beban berlebih, temperatur perkerasan tinggi, curah hujan tinggi, dan tanah lunak. Serta tantangan lain, yaitu mutu konstruksi harus ditingkatkan. Sangat penting untuk menguasai elemen kunci tertentu dalam manual desain perkerasan 2013, seperti umur rencana, beban, iklim, tanah dasar lunak dan batas konstruksi yang diuraikan dalam manual ini. Perubahan yang dilakukan dalam desain awal menggunakan manual 2013 harus dilakukan dengan benar serta memberikan biaya siklus umur (*life cycle cost*) terendah.

Metode Bina Marga 2013 dapat digunakan sebagai perencanaan perkerasan pada jalan baru, pelebaran jalan, dan rekonstruksi perkerasan lentur dan kaku. Metode ini juga menjelaskan faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan struktur perkerasan. Metode ini dapat digunakan untuk menghasilkan desain awal yang nantinya dapat diperiksa terhadap pedoman desain perkerasan Pd T-012002-B dan *Software* Desain Perencanaan Jalan Perkerasan Lentur (SDPPJL) untuk desain perkerasan lentur.

Prosedur dalam menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M.BM/2013 untuk desain perkerasan lentur, yaitu sebagai berikut ini.

1. Menentukan umur rencana dengan mempertimbangkan elemen perkerasan berdasarkan analisis *discounted whole of life cost* terendah dari Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	lapisan aspal dan lapisan berbutir dan CTB	20
	pondasi jalan	40
	semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang. Misal : jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan	
	<i>Cement Treated Based</i>	
Perkerasan Kaku	lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	semua elemen	minimal 10

Sumber : Bina Marga (2013)

- Menentukan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas yang didasarkan pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain

Jenis Jalan	2011-2020	>2021 - 2030
Arteri, perkotaan (%)	5	4
Kolektor rural (%)	3,5	2,5
Jalan desa (%)	1	1

Sumber : Bina Marga (2013)

Selanjutnya, tentukan nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R) dengan Persamaan 3.15.

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01 \times i} \quad (3.15)$$

dengan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas,

i = tingkat pertumbuhan tahunan (%), dan

UR = umur rencana (tahun).

- Menentukan nilai CESA4 sesuai dengan umur dan lalu lintas rencana melalui Persamaan 3.16.

$$ESA = (\sum \text{jenis kendaraan LHRT} \times \text{VDF}) \quad (3.16)$$

$$\text{CESA4} = \text{ESA} \times 365 \times R \quad (3.17)$$

dengan :

ESA = lintas sumbu standar ekivalen untuk 1 hari,

LHRT = lintas harian rata-rata tahunan jenis kendaraan,

VDF = faktor perusak (*vehicle damage factors*), dan

CESA = kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.

4. Menentukan nilai *Traffic Multiplier* (TM). Nilai TM kelelahan lapisan aspal (TM lapisan aspal) untuk kondisi pembebanan yang berlebih di Indonesia adalah berkisar 1,8 - 2.
5. Menghitung nilai CESA5 sesuai dengan Persamaan 3.18.

$$\text{CESA 5} = (\text{CESA4} \times \text{TM}) \quad (3.18)$$

dengan :

CESA 5 = kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana
(Pangkat 5 digunakan untuk perkerasan lentur),

CESA 4 = kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana
(Pangkat 4 untuk bagan desain pelaburan tipis Burda dan perkerasan tanpa penutup), dan

TM = kelelahan lapisan aspal (*Traffic Multiplier*).

6. Menentukan jenis perkerasan berdasarkan kemampuan pihak penyedia jasa dan solusi yang lebih diutamakan serta kondisi lingkungan.
7. Menentukan dan kelompokkan kondisi tanah dasar sepanjang ruas jalan yang akan didesain.
8. Menentukan struktur pondasi jalan berdasarkan kondisi tanah dasar dari Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur desain pondasi	Deskripsi struktur pondasi jalan	lalu lintas jalur desain umur rencana 20 tahun (juta CESA5)		
				< 2	2 s/d 4	> 4
				Tebal minimum peningkatan tanah dasar		
> 6	SG6	A	Perbaikan tanah dasar meliputi stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis <200 mm tebal lepas)	Tidak perlu peningkatan		
5	SG5					100
4	SG4			100	150	200
3	SG3			150	200	300
2,5	SG2,5			175	250	350
Tanah ekspansif (<i>potential swell</i> >5%)		AE		400	500	600
Perkerasan lentur diatas tanah lunak ⁽⁵⁾	SG1 aluvial ⁽¹⁾	B	Lapis penopang (<i>capping layer</i>) ⁽²⁾⁽⁴⁾	1000	1100	1200
			atau lapis penopang dan geogrid ⁽²⁾⁽⁴⁾	650	750	850
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk jalan kecil (nilai minimum - peraturan lain digunakan)		D	Lapis penopang berbutir ⁽²⁾⁽⁴⁾	1000	1250	1500

Keterangan :

- (1) Nilai CBR lapangan CBR rendaman tidak relevan
- (2) Diatas lapis penopang harus diasumsikan memiliki nilai CBR ekuivalen 2.5%
- (3) Ketentuan tambahan mungkin berlaku, desain harus mempertimbangkan semua isu kritis
- (4) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asli dipadatkan (tanah lunak kering pada saat konstruksi)
- (5) Ditandai oleh kepadatan yang rendah dan CBR lapangan yang rendah di bawah daerah yang dipadatkan.

Sumber : Bina Marga (2013)

9. Menentukan struktur perkerasan yang paling ideal dan sesuai dengan kondisi dari ketiga alternatif yang disajikan dari bagan pada Bina Marga 2013.