

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

##### **3.1.1 Definisi Tanah**

Tanah dianggap merupakan suatu lapisan sedimen lepas seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*) atau suatu campuran bahan-bahan tersebut. Tanah adalah himpunan material, bahan organik, dan endapan endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat bersifat air, udara ataupun keduanya.

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

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 dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm.

##### **3.1.2 Komponen-Komponen Tanah**

Tanah terdiri dari butir-butir bermacam-macam ukuran yang dijadikan satu, dengan ruang-ruang diantara butir-butir dikenal dengan pori-pori. Pori-pori pada umumnya merupakan suatu campuran dari udara dan air, akan tetapi pada keadaan khusus dapat berupa udara seluruhnya atau air seluruhnya. Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah

hanya 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 dari tiga bagian yaitu padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori.

Persamaan berat dan volume tanah dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Kadar Air (*Moisture Content/Water Content*)

Kadar air ( $w$ ), adalah perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ), kadar air dinyatakan dalam Persamaan 3.1 berikut ini.

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

2. Berat Volume Kering (*Dry Density*)

Berat volume kering ( $\gamma_d$ ), adalah perbandingan antara berat butiran ( $W_s$ ) dengan volume total ( $V$ ) tanah. Berat volume kering dinyatakan dalam Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.2)$$

3. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis ( $G_s$ ) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ), dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4°C, berat jenis dinyatakan dalam Persamaan 3.3 berikut ini.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.3)$$

$G_s$  tidak berdimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis  $G_s = 2,67$  biasanya digunakan untuk tanah-tanah tidak berkoheksi atau tanah granular, sedang untuk tanah-tanah kohesif tidak mengandung bahan organik  $G_s$  berkisar di antara 2,68 sampai 2,72 (Hardiyatmo, 2012). Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3.1 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)

### 3.1.3 Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

Cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan pada kadar air yang bervariasi (*Atterberg*, 1911). 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 yang digunakan dinyatakan dalam persen dalam pengujiannya untuk batas cair menggunakan alat yang dinamakan *Atterberg* untuk batas susut menggunakan cawan yang terbuat dari logam yang kemudian diukur seberapa besar susut tanah dengan menggunakan air raksa. Pengujian batas plastis cukup dengan menggiling-giling tanah diatas permukaan yang rata sampai mencapai retak-retak.

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

Batas cair (*LL*) didefinisikan keadaan dimana kadar air pada kondisi ketika tanah mulai berubah dari plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis atau juga batas atas dari daerah plastis. Pada keadaan ini, butiran-butiran akan tersebar dan didukung oleh air. Jika kadang air berkurang, misalnya akibat dikeringkan, perubahan volume yang terjadi adalah akibat berkurangnya air. Jadi hilangnya kandungan air sama dengan pengurangan volume.

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

Batas plastis (PL) adalah keadaan dimana kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi plastis, yaitu presentase kadar air pada saat tanah mulai retak, sebagai contoh tanah berdiameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Pada keadaan ini, tanah lempung berubah warnanya. Batas plastis dinyatakan dalam Persamaan 3.4 berikut ini.

$$PL = \frac{W_p + W_k}{W_k} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan :

PL = Batas Plastis Tanah

W<sub>p</sub> = Berat Tanah Basah Kondisi Plastis

W<sub>k</sub> = Berat Tanah Kering

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

Batas susut (SL) adalah keadaan dimana 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 3.5 berikut ini.

$$SL = \left( \frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100\% \quad (3.5)$$

Keterangan :

SL = Batas Susut Tanah

V<sub>o</sub> = Volume Benda Uji Kering

W<sub>o</sub> = Berat Benda Uji Kering

G<sub>s</sub> = Bera Jenis Tanah

### 4. Indeks Plastisitas / *Plasticity Indeks (PI)*

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas menyatakan kadar air dimana tanah tetap dalam kondisi plastis, dan juga menyatakan jumlah relatif partikel lempung dalam tanah. Jika PI tinggi,

maka tanah banyak mengandung lempung. Jika PI rendah, hal ini menunjukkan terdapat kebanyakan lanau, sedikit pengurangan kadar air mengakibatkan tanah menjadi kering. Sebaliknya, bila kadar air sedikit bertambah, tanah menjadi cair. Indeks plastisitas dinyatakan dalam Persamaan 3.6 berikut ini.

$$PI = LL - PL \quad (3.6)$$

Keterangan :

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas Cair

PL = Batas Plastis

Nilai indeks plastisitas dan macam tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut 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	Kohesi sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber : Hardiyatmo (2012)

#### 3.1.4 Klasifikasi Tanah

Umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah yang ditemukan pada pekerjaan konstruksi. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena

penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tanah tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan, uji sedimentasi, dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah sistem AASHTO pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Terzaghi, yang akhirnya diambil oleh *Bureau of Public Roads*. Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis ukuran butiran, pengujian batas cair dan batas plastis.

Sistem ini membedakan tanah dalam 8 (delapan) kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-7. A-7 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan. Klasifikasi tanah dari Sistem Unified mula pertama diusulkan oleh Casagrande pada tahun 1942, kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

#### 1. Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Pada sistem USCS, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomer 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 3.3. simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah :

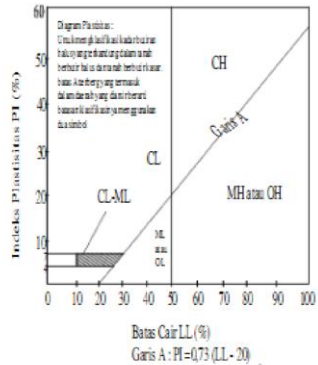
G = Kerikil (*Gravel*)

- S = Pasir (*Sand*)
- C = Lempung (*Clay*)
- M = Lanau (*Silt*)
- O = Lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)
- Pt = Tanah dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = Gradasi baik (*well-graded*)
- P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)
- H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
- L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Adapun sistem klasifikasi USCS dapat dilihat pada Tabel 3.3 dibawah ini.

**Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi USCS**

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama jenis
tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil Gradasi baik dan campuran pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW  Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$ bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol  $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW  Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$ bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		GP	Kerikil Gradasi buruk dan campuran pasir kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SW	Pasir Gradasi baik, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir Gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SM	pasir berlanau, campuran pasir lanau	
		SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
tanah berbutir halus < 50% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	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')	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau efasis.	
		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)

## 2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Associated of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 7 (tujuh) kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut. Adapun untuk sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.4 Sistem Klasifikasi AASHTO**

Klasifikasi Umum	material berbutir (<35% lolos saringan no.200)							tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisis ayakan (% lolos)	50 maks	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
No. 10	30 maks	50 maks	51 maks	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
No. 40	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	-----	-----	-----	-----
No. 200	-----	-----	-----	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat Fraksi yang lewat : # No.40 : Batas Cair Indeks Plastisitas	-----	-----	N.P	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	40 min	40 maks	41 min
	6 maks	-----	-----	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Jenis Umum	Fragmen batuan Kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lempungan				Tanah lanauan		Tadah lempungan	
Tingkat umum sebagai Tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Cukup baik sampai buruk			

Sumber : Hardiyatmo (2012)

Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dengan persamaan 3.7 berikut ini.

$$GI = (f - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (3.7)$$

dengan :

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = Persen butiran lolos saringan nomer 200 (0,075 mm)

LL = Batas cair

PI = Indeks plastisitas

### 3.2 Tanah Lempung Ekspansif

Lempung ekspansif merupakan salah satu jenis tanah berbutir halus ukuran koloidal yang terbentuk dari mineral-mineral *ekspansif*. Lempung ini mempunyai sifat yang khas yakni kandungan mineral *ekspansif* mempunyai kapasitas pertukaran ion yang tinggi, mengakibatkan lempung *ekspansif* memiliki potensi kembang susut tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Apabila terjadi peningkatan kadar air, tanah *ekspansif* akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan. Sedangkan apabila kadar air berkurang sampai batas susutnya akan terjadi penyusutan. Sifat kembang susut yang demikian bisa menimbulkan kerusakan pada bangunan.

Perubahan kadar air mengakibatkan sistem muatan listrik pada air *higroskopis* dalam masa tanah akan berubah karena terjadi penambahan muatan positif dan negatif. Penambahan muatan listrik dalam air *higroskopis* terjadinya pertukaran ion-ion negatif dari *higroskopis*, sehingga menyebabkan terlepasnya butiran mineral dari ikatannya. Penambahan kadar air pada tanah *ekspansif* akan menambah jumlah sistem muatan listrik dalam satu satuan tanah, tergantung dari kapasitas muatan listrik struktur mineral pembentuknya. Mineral lempung *ekspansif* mempunyai kapasitas pertukaran muatan yang jauh lebih besar dibanding mineral pembentuk tanah non *ekspansif*. Kapasitas pertukaran muatan

listrik yang besar tersebut mengakibatkan tanah *ekspansif* mempunyai potensi kembang susut yang tinggi.

Kandungan air tanah asli sangat mempengaruhi perilaku tanah khususnya proses pengembangannya. Lempung dengan kadar air rendah memiliki kemungkinan pengembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lempung berkadar air yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena lempung dengan kadar air alami rendah lebih berpotensi untuk menyerap air.

Kandungan mineral ekspansif mempunyai kapasitas pertukaran ion yang tinggi, mengakibatkan lempung ekspansif mempunyai potensi kembang susut, beberapa mineral yang biasa terdapat pada tanah ekspansif adalah *montmorillonite*, *kaolinite*, dan *illite*. Hasil penelitian sebelumnya memberikan konfirmasi bahwa masalah terbesar terjadi pada tanah ekspansif dengan kandungan *montmorillonite* tinggi seperti terlihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

**Tabel 3.5 Hubungan Mineral Tanah dengan Aktivitas**

Mineral	Aktivitas
Kaolinite	0.33-0.46
Illite	0.9
<i>Montmorillonite</i> (Ca)	1.5
<i>Montmorillonite</i> (Na)	7.2

Sumber : Chen (1988)

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi potensial ekspansif dari tanah antara lain :

1. sifat-sifat tanah, meliputi kadungan mineral lempung, plastisitas, struktur dan susunan tanah, dan kepadatan kering.
2. lingkungan dan keadaan tegangan, meliputi riwayat tegangan, kondisi kelembaban awal, variasi-variasi kelembaban seperti faktor iklim, air tanah, drainase dan sumber air buatan, vegetasi, permeabilitas dan suhu.

Klasifikasi tanah lempung dengan potensi pengembangan dan penyusutan yang besar (ekspansif) dan didasarkan pada besarnya nilai aktivitas (A) tanah

lempung dan nilai indeks plastisitasnya (PI) > 35, nilai aktivitas ini dipengaruhi oleh jenis mineral yang dikandung oleh tanah lempung (Toha, 1989).

Adapun sifat umum lempung ekspansif tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

**Tabel 3.6 Sifat Umum Lempung Ekspansif**

Parameter	Nilai
Kadar Air	80-100 %
Batas Cair	80-110 %
Batas Plastis	30-45%
Lolos Saringan no 200	>10 %
Kuat geser	20-40 kN/m <sup>2</sup>

Sumber : Toha (1989)

Potensi pengembangan memiliki indeks plastisitas yang berbeda-beda, dapat dilihat pada tabel 3.7 berikut ini.

**Tabel 3.7 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)

### 3.2.1 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Identifikasi dan klasifikasi tanah ekspansif secara empiris dilakukan dengan menggunakan parameter hasil dari uji indeks. Uji indeks yang diperlukan adalah batas cair (SNI 03-1967-1990) dan batas plastis (SNI 03-1966-1990). Pada umumnya, tanah dengan indeks plastisitas (PI) kurang dari 15 % tidak akan memperlihatkan perilaku pengembangan. Untuk tanah dengan PI lebih besar dari 15%, kandungan tanah lempung harus dievaluasi dievaluasi disamping nilai-nilai

batas batas konsistensi (*atterberg limit*). Identifikasi dengan uji sederhana menggunakan alat yan rutin dipakai dilaboratorium. Hubungan indeks plastisitas dengan potensi pengembangan dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut ini.

**Tabel 3.8 Hubungan Indeks Plastisitas dengan Potensi Pengembangan**

Potensi pengembangan	Indeks Plastisitas (%)
Rendah	0-11
Sedang	10-35
Tinggi	20-55
Sangat Tinggi	>35

Sumber : Fredlund, D.G., Rahardjo, H., (1993) dan Mitchel, J.K.,(1976)

Pengembangan (*swelling*) yang terjadi diukur pada pengujian CBR rendaman selama 4 hari (Marzuko,2002). Identifikasi dan klasifikasi kualitatif tanah ekspansif secara sederhana dapat dilakukan dengan menghitung nilai pengembangan (*swelling*). yang dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$Sw = P \times k \quad (3.8)$$

Dimana :

Sw = pengembangan (mm)

P = pembacaan dial

K = konversi (x 0,01 mm)

### 3.3 Kapur

Kapur memiliki sifat sebagai bahan ikat antara lain: sifat plastis baik (tidak getas), mudah dan cepat mengeras, *workability* baik dan mempunyai daya ikat baik untuk batu dan bata (Tjokrodinuljo,1992). Bahan dasar kapur adalah batu kapur atau *dolomit*, yang mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Pengertian kapur sebagai bahan stabilisasi mengacu pada mineral kapur berupa kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>), kalsium oksida (CaO) dan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Penggunaan yang paling efektif dan aman dalam pelaksanaan

konstruksi adalah menggunakan kalsium hidroksida (kapur padam) yang disarankan berupa bubuk, karena sangat penting untuk proses hidrasi dan mengurangi masalah yang timbul, kalsium karbonat kurang efektif dipergunakan untuk bahan campuran, sedangkan kalsium oksida (*quick lime*) lebih baik dalam proses kimianya namun beberapa kelemahan dari kalsium oksida ini dapat mempermudah terjadinya korosi pada peralatan dan sangat berbahaya bagi kulit pelaksana konstruksi (Ingless dan Metcalf,1992).

### 3.4 Abu Sekam Padi

Selama proses pembakaran sekam padi menjadi abu, zat-zat organik akan hilang dan meninggalkan sisa yang kaya akan silika. Selain itu, perlakuan panas pada silika dalam sekam padi menghasilkan perubahan struktural yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktivitas *pozzolan* dan kehalusan butir abunya. Secara umum faktor suhu, waktu dan lingkungan pembakaran harus dipertimbangkan dalam proses pembakaran sekam padi untuk menghasilkan abu yang mempunyai tingkat reaktivitas maksimal. Silika merupakan unsur pokok abu sekam padi (*Rice Husk Ash /RHA*) yang menguntungkan, karena pada kondisi yang sesuai dapat bereaksi dengan kapur bebas membentuk gel yang bersifat sebagai bahan ikat. Secara tipikal komposisi kimia abu sekam padi meliputi SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Cl, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub> dan sedikit unsur lainnya. Kandungan minimum dan maksimum unsur oksida yang harus ada pada suatu *pozzolan* dapat ditunjukkan dalam Tabel 3.9 berikut ini.

**Tabel 3.9 Kandungan kimia *pozzolan* menurut ASTM C 618-92a**

Kandungan Kimia	Kelas <i>pozzolan</i>		
	N	F	C
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , minimum%	70	70	50
SO <sub>3</sub> , minimum %	4	5	5
Kadar air, maksimum %	3	3	3
Hilang dalam pembakaran, %	10	6	6

Sumber : ASTM C 618-92a

### 3.5 Stabilisasi Tanah

Tanah dasar merupakan bagian penting dari konstruksi jalan karena tanah ini mendukung seluruh konstruksi jalan beserta muatan lalu lintas di atasnya. Tanah dasar menentukan mahal tidaknya pembangunan jalan tersebut karena kekuatan tanah tersebut menentukan tebal tipisnya lapisan perkerasan. Tanah dasar dalam keadaan asli merupakan suatu bahan yang kompleks dan sangat bervariasi kandungan mineralnya. Pembangunan jalan raya tidak selalu berada di atas tanah dasar yang relatif baik, ada kemungkinan dibuat di atas tanah yang kurang baik. Akibatnya, tanah tersebut tidak dapat langsung dipakai sebagai lapisan dasar (*subgrade*). Oleh karena itu tanah dasar perlu dipersiapkan secara baik antara lain dengan perbaikan tanah.

Stabilisasi tanah adalah alternatif yang dapat diambil untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada. Pada prinsipnya stabilisasi tanah merupakan suatu penyusunan kembali butir-butir tanah agar lebih rapat dan saling mengunci. Tanah dibuat stabil agar jika ada beban yang lewat, tidak terjadi penurunan (*settlement*). Tanah dasar minimal harus bisa dilewati kendaraan proyek. Stabilisasi tanah adalah usaha untuk meningkatkan stabilitas dan kapasitas daya dukung tanah. Menurut Bowles (1984) apabila tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan.

Proses stabilisasi itu meliputi, yaitu:

1. penggantian tanah asli : mengganti tanah dengan tanah yang baik atau sesuai spesifikasi,
2. perbaikan gradasi butiran,
3. stabilisasi dengan bahan kimia, dan
4. stabilisasi dengan pemadatan.

Tujuan perbaikan tanah tersebut adalah untuk mendapatkan tanah dasar yang stabil pada semua kondisi. Usaha stabilisasi dilakukan hanya seperlunya

saja, tidak menguntungkan secara ekonomis untuk membuat sesuatu bagian konstruksi yang lebih kuat dari yang diperlukan.

Stabilisasi tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis stabilisasi tanah dengan carakimiawi. Stabilisasi kimia adalah stabilisasi tanah dengan memberikan bahan kimia pada tanah sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan sifat fisik dari tanah tersebut, seperti kapur, semen, dan lain sebagainya. Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran antara abu sekam padi dan kapur dengan variasi yang berbeda.

### 3.6 Pemadatan Tanah

Teori pemadatan pertama kalinya dikembangkan oleh R.R. Proctor. Metode yang orisinal dilaporkan melalui serangkaian artikel dalam *Engineering New Record*. Oleh karena itu, prosedur dinamik laboratorium yang standar biasanya disebut dengan uji *Proctor* (Bowles, 1984). 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. Menurut Craig (1991), pemadatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara dan tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini.

Berat volume kering tanah dapat dituliskan ke dalam Persamaan 3.8 berikut ini.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.8)$$

dengan :  $\gamma$  = berat volume butir tanah dan  $w$  = kadar air.

Berat volume kering jenuh tanah dapat dituliskan ke dalam persamaan 3.9 berikut ini.

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+wG_s} \quad (3.9)$$

dengan  $G_s$  = berat spesifik butiran tanah padat dan  $\gamma_w$  = berat jenis air

### 1. Pemadatan Standar (*Standard Compaction*)

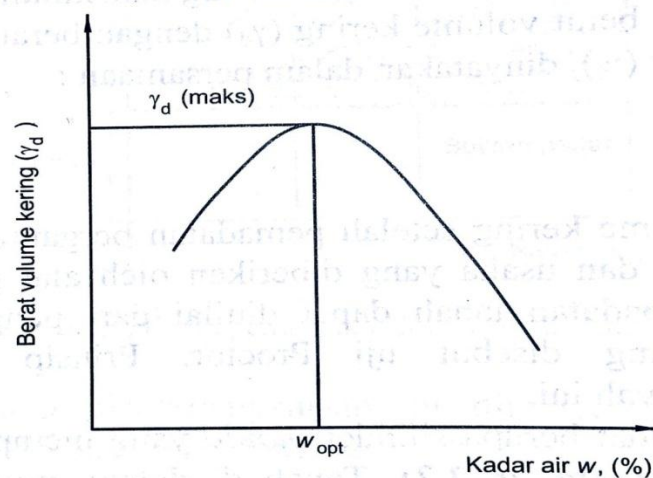
Pemadatan standar (*standar compaction*) adalah usaha untuk memadatkan contoh tanah yang dilakukan dilaboratorium dengan menggunakan alat alat pemadatan standar. Aturan yang dapat dilakukan pada pemadatan standar dapat ditunjukkan pada Tabel 3.10 berikut ini.

**Tabel 3.10 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	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{4}$ "
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 : Soedarmo dan Purnomo (1997)

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 3.2 berikut.

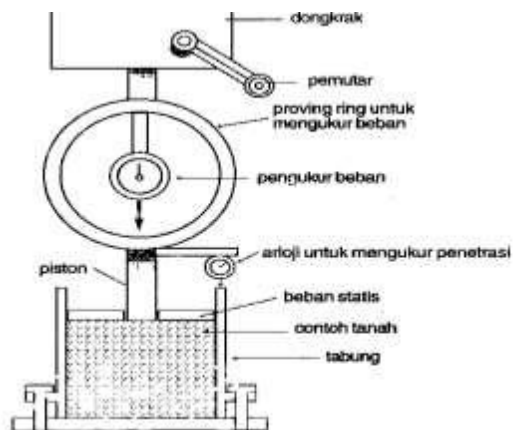


**Gambar 3.1 Kurva Kadar Air dan Berat Volume Kering**

## 2. CBR (*Californian Bearing Ratio*)

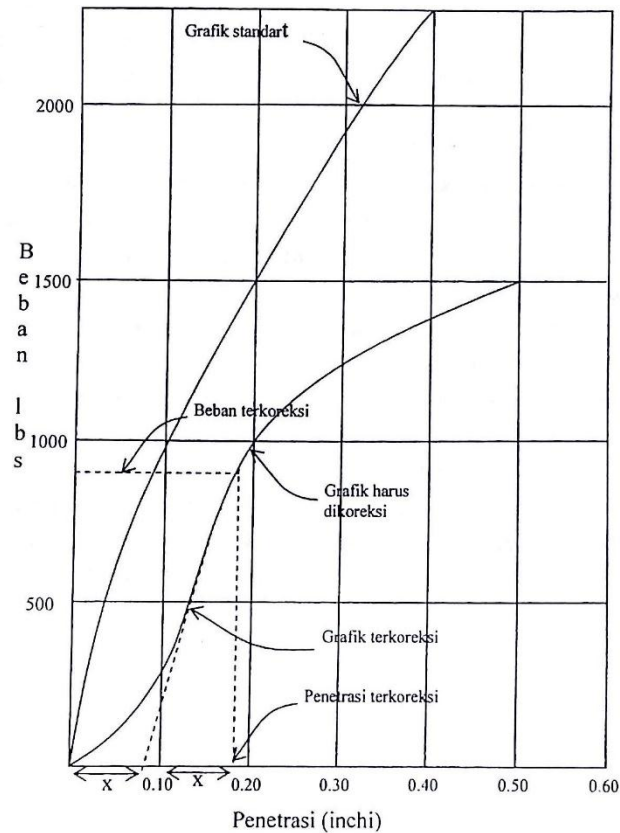
Daya dukung tanah dasar (subgrade) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*californian Bearing Ratio*). CBR untuk pertama kalinya diperkenalkan oleh *California Division of Highways* pada tahun 1928. Sedangkan metode CBR ini dipopulerkan oleh O. J. Porter. CBR adalah perbandingan 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”(Sukirman,1995)

Jadi nilai CBR didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban standar (standar load\_ dan dinyatakan dalam persentase. Tujuan dari percobaan CBR adalah untuk menentukan daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan beban standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Adapun hasil dari uji CBR laboratorium dan alat pengujian CBR dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut ini.



**Gambar 3.2 Alat Pemeriksa Nilai CBR di Laboratorium**

(Sumber : Soedarmo dan Purnomo,1997)



**Gambar 3.3 Grafik Standar Pengujian CBR di Laboratorium**

Besarnya nilai CBR tanah akan menentukan ketebalan lapisan tanah yang akan dibuat sebagai lapisan perkerasan di atasnya. Semakin besar nilai CBR tanah maka semakin tipis lapisan perkerasan di atasnya.

### 3.7 Konstruksi Perkerasan Jalan

Tanah dalam ilmu mekanika tanah adalah semua endapan alam yang berhubungan dengan teknik sipil, kecuali batuan tetap. Batuan tetap menjadi ilmu tersendiri yaitu mekanika batuan (*rock mechanics*). Endapan alam tersebut mencakup semua bahan dari tanah lempung sampai berangkal (Soedarmo dan Purnomo, 1997). Perkerasan lentur dan perkerasan kaku dalam pelaksanaannya tergantung tanah dasar (*subgrade*) yang bersangkutan. Tebal perkerasan dan komponennya tergantung sifat-sifat tanah dasar yang akan ditetapkan sebelum perencanaan dibuat. Untuk mengetahui kekuatan tanah biasanya digunakan data

data seperti C.B.R (*California Bearing Ratio*), pemadatan dan daya dukung. Letak dari tanah dasar (*subgrade*) dapat ditunjukkan melalui Gambar 3.2.

Tanah dasar atau sub grade adalah lapisan tanah paling bawah 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, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi (dengan semen, kapur dan lain lain).

Ditinjau dari muka tanah asli, maka tanah dasar dibedakan atas sebagai berikut ini :

- a. tanah dasar, tanah galian. tanah dasar, tanah urugan,
- b. tanah dasar, tanah asli.

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Sehingga lapisan perkerasan tersebut mempunyai fleksibilitas/kelenturan yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan dalam melintas di atasnya. Perlu dilakukan kajian yang lebih intensif dalam penerapannya dan harus juga memperhitungkan secara ekonomis, sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga konstruksi jalan yang direncanakan itu adalah yang optimal

### 3.7.1 Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Tanah Dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan, yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

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 ini:

- a. perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas,
- b. sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air, dan

- c. daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.

### 3.7.2 Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain adalah sebagai berikut ini:

- a. sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda,
- b. mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi),
- c. untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi, dan
- d. sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat-alat besar atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

Bermacam-macam tipe tanah setempat ( $CBR > 20\%$ ,  $PI < 10\%$ ) yang relatif lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah. Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur atau semen portland dalam beberapa hal sangat dianjurkan, agar dapat bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan.

### 3.7.3 Lapis Pondasi (*Base Course*)

Lapis Pondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

Fungsi lapis pondasi antara lain adala sebagai berikut ini:

- a. sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda, dan
- b. sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan

untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik.

Berbagai-macam 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.

#### 3.7.4 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis Permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan antara lain sebagai berikut ini:

- sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda,
- sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca, dan
- sebagai lapisan aus (*wearing course*).

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

Pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.



**Gambar 3.4 Struktur Perkerasan Jalan**

(Sumber : binamarga.go.id)

### 3.8 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2013

Perencanaan tebal suatu struktur perkerasan jalan merupakan salah satu bagian dari rekayasa jalan yang bertujuan memberikan pelayanan terhadap arus

lalulintas sehingga memberikan rasa aman dan nyaman terhadap pengguna jalan. Kesesuaian dan ketetapan dalam menentukan parameter pendukung dan metode perencanaan tebal perkerasan yang digunakan, sangat mempengaruhi efektifitas dan efisiensi penggunaan biaya konstruksi dan pemeliharaannya jalan. Berdasarkan bahan pengikat yang digunakan untuk membentuk lapisan atas, perkerasan jalan dibedakan menjadi perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan semen portland, dan perkerasan komposit (*composite pavement*) yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur. Perbedaan antara tipe perkerasan jalan tersebut adalah dalam hal pendistribusian beban yang dilimpahkan. Pada perkerasan kaku beban secara keseluruhan dilimpahkan kepada pelat beton dengan bidang yang luas, sedangkan pada perkerasan lentur yang memiliki kekakuan yang lebih rendah sehingga beban yang dilimpahkan akan didistribusikan kesetiap lapisan yang menyusun perkerasan. Maka lapisan perkerasan lentur dibuat berlapi-lapis, dengan lapisan paling atas memiliki sifat yang lebih baik dari lapisan dibawahnya.

Struktur perkerasan lentur merupakan suatu kesatuan system yang sangat kompleks yang terdiri dari beberapa lapisan (*layer*) dimana setiap lapisan memiliki sifat bahan (*properties*) yang berbeda. Pertama kali perkerasan lentur dicobakan di United States pada tahun 1870 di Newark, New Jersey, dan dengan skala besar dihampar untuk pertamakalinya pada tahun 1896 di kota Pennsylvania Avenue, Washington D.C. dengan aspal yang berasal dari *Trinidad Lake*. Perkerasan lentur pada umumnya baik digunakan untuk melayani lalulintas ringan sampai dengan lalulintas sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan *system* utilitas terletak dibawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap. Pembangunan jalan yang tercatat dalam sejarah Bangsa Indonesia adalah pembangunan Jalan Raya Pos (*De Grote Pos Weg*) yang dilakukan melalui kerja paksa pada jaman pemerintahan H.W Daendles. Jalan raya tersebut mulai dibangun Mei 1808 sampai Juni 1809, terbentang dari Anyer di ujung Barat sampai dengan Panurukan di ujung Timur Pulau Jawa, sepanjang

lebih kurang 1000 km. Tujuan pembangunan jalan saat diutamakan untuk kepentingan strategi pertahanan daripada transportasi masyarakat.

Desain jalan di Indonesia telah berkembang dari tahun ketahun. Dimulai dari Metode Analisa Komponen pada tahun 1987, kemudian berkembang menjadi desain perkerasan lentur Pt T-01-2002-B yang diadopsi dari metode AASHTO pada penelitiannya pada tahun 1958-1960 di Ottawa, Illinois menggunakan kendaraan dengan sumbu tunggal roda ganda dengan muatan sumbu terberat 8.16 ton/18000 pon.

Dalam meningkatkan kinerja aset jalan Indonesia agar dapat menghadapi empat tantangan yaitu beban berlebih, temperatur perkerasan yang tinggi, curah hujan yang tinggi, dan tanah lunak serta tantangan ke lima yaitu mutu konstruksi harus di tingkatkan dengan meningkatkan profesionalisme industri konstruksi jalan, Pemerintahan Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga pada tahun 2012 mengeluarkan draft manual desain perkerasan jalan, yang kemudian di sahkan pada tahun 2013 menjadi Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M.BM/2013.

Manual desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M.BM/2013 digunakan untuk menghasilkan desain awal (berdasarkan bagan desain), kemudian hasil tersebut diperiksa terhadap pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002-B, dan *software* desain Perencanaan Jalan Perkerasan Lentur (SDPJL) untuk desain perkerasan lentur. Manual ini akan membantu dalam meyakinkan kecukupan struktural dan kepraktisan konstruksi untuk kondisi beban dan iklim Indonesia. Sangat penting untuk menguasai element kunci tertentu dalam manual desain perkerasan 2013 ini, 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 ini harus dilakukan dengan benar serta memberikan biaya siklus umur (*life cycle cost*) terendah.

Desain jalan yang baik harus mempunyai kriteria –kriteria sebagai berikut ini:

1. Menjamin tercapainya tingkat layan jalan sepanjang umur rencana Suatu struktur perkerasan jalan didisain agar mampu melayani repetisi lalu lintas

selama umur rencana atau masa layan berikutnya. Selama masa pelayanan struktur perkerasan mengalami penurunan kinerja dari kinerja awal (IPO) yang diharapkan sampai dengan kinerja akhir (IPt). Maka dari rentang waktu IPO hingga tercapainya IPt, struktur perkerasan tidak mengalami kegagalan (*failure*) yaitu retak (*fatigue cracking*) dan alur (*rutting*). Pada bagian kedua undang-undang no.22 tahun 2009, yaitu bagian ruang lalu lintas, paragraf 1 tentang kelas jalan, pasal 19 nomer 1-5 menjelaskan bahwa jalan dikelompokkan menjadi, yaitu pertama fungsi dan intensitas lalu lintas guna kepentingan pengaturan pengguna jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan, yang kedua yaitu berdasarkan daya dukung untuk menerima muatan sumbu terberat dan dimensi kendaraan bermotor.

2. Melaksanakan suatu pembangunan infrastruktur diperlukan adanya biaya. Oleh karena itu pelaksana perlu melakukan analisa ekonomi teknik dalam merencanakan suatu anggaran biaya. Pemilihan bahan serta pelaksanaan yang menjadi kunci pokok dalam merencanakan suatu anggaran. Dalam konstruksi jalan umum diketahui bahwa perkerasan lapis aspal (lentur) lebih murah dari pada perkerasan dengan lapis beton (kaku). Paradigma ini harus dihilangkan dalam benak perencana karena aspek umur jalan serta lalu lintas rencana yang akan melewati jalan tersebut dapat mempengaruhi daya tahan struktur perkerasan yang kemudian akan berpengaruh terhadap pemeliharaan dan umur dari perkerasan. Oleh karena itu pemilihan jenis perkerasan harus di analisis dengan discounted *whole life cost* terendah.
3. Dengan pelaksanaan yang mudah pekerjaan akan cepat selesai dengan jumlah pekerja dan alat berat yang optimum, sehingga dapat menekan biaya serta menghindarkan denda (*penalty*) akibat keterlambatan.
4. Material yang baik dan dengan pelaksanaan yang baik pula akan menghasilkan perkerasan yang baik. Material suatu perkerasan jalan akan sangat mempengaruhi tebal perkerasan tersebut. Dengan memanfaatkan material lokal, akan dapat menekan biaya angkut/distribusi material tersebut. Pemilihan material juga harus melihat kemampuan pelaksana yang tersedia, atau dibutuhkan tidaknya alat berat dalam mengolah material tersebut. Syarat

dan ketentuan mengolah material terdapat dalam Spesifikasi Teknis Umum Bina Marga tahun 2010.

5. Keselamatan pengguna jalan diatur dalam undang-undang nomor 22 tahun 2009 pada bab xx pasal 273 ayat 1-4. Pada perundangan ini tertulis bahwa penyelenggara jalan apabila menyebabkan kecelakaan terhadap pengguna jalan akan dikenakan denda tertentu dan hukuman pidana. Oleh karena itu suatu jalan haruslah aman, nyaman terhadap penggunaannya hingga mencapai umur rencana yang ditentukan.
6. Setiap pelaku konstruksi harus mempertimbangkan aspek lingkungan dalam menjalankan kegiatan pembangunannya. Anasila Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) adalah kajian mengenai dampak besar dan penting suatu usaha dan/atau kegiatan yang direncanakan pada lingkungan hidup yang diperlukan bagi proses pengambilan keputusan tentang penyelenggaraan usaha dan/atau kegiatan. Pelaku konstruksi tidak dapat lagi menghindari dari pertimbangan aspek lingkungan dalam melaksanakan kegiatan pembangunan sejak diundangkannya UU No. 4 Tahun 1982, sebagai tindak lanjut pelaksanaan UUPH pada Tahun 1982 dibentuk PP No. 29 Tahun 1986 yang mengatur bahwa setiap usaha/kegiatan yang diperkirakan mempengaruhi fungsi lingkungan hidup perlu dilakukan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan. Penyempurnaan peraturan mengenai AMDAL dilakukan dalam PP No. 51 Tahun 1993 yang direvisi lagi melalui PP No. 27 Tahun 1999 untuk mengakomodir wacana otonomi daerah, sehingga dimungkinkan pembahasan dan penilaian AMDAL oleh Pemerintah Daerah.

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

1. Menentukan umur rencana dengan mempertimbangkan elemen perkerasan berdasarkan analisis *discounted whole of life cost* terendah dari tabel.
2. Menentukan nilai CESA<sub>4</sub> sesuai dengan umur dan lalulintas rencana.

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

$$CESA = ESA \times 365 \times R$$

Dimana :

ESA : Lintas sumbu standar ekivalen untuk 1 hari  
LHRT : Lintas harian rata-rata tahunan jenis kendaraan  
VDF : Faktor perusak (*vehicle damage factors*)

3. Menentukan nilai *Traffic Multiplier* (TM).
4. Menghitung  $CESA_5$  ( $CESA_4 \times TM$ ).
5. Menentukan jenis perkerasan berdasarkan kemampuan pihak penyedia jasa dan solusi yang lebih diutamakan serta kondisi lingkungan dari tabel.
6. Menentukan dan kelompokkan kondisi tanah dasar sepanjang ruas jalan yang akan didesain.
7. Menentukan struktur pondasi jalan berdasarkan kondisi tanah dasar dari tabel.
8. Menentukan struktur perkerasan jalan yang memenuhi syarat-syarat dari tabel.
9. Menentukan struktur perkerasan yang paling ideal dan sesuai dengan kondisi yang ada dari ketiga alternatif yang disajikan dari bagan yang tersedia.
10. Memeriksa kekuatan struktural perkerasan yang telah dipilih dengan metode desain mekanistik.