

## BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 5.1 PENGUJIAN SIFAT FISIK TANAH ASLI

Pengujian fisifk tanah asli meliputi beberapa pengujian, yaitu pengujian kadar air tanah, pengujian berat volume, pengujian berat jenis dan pengujian proktor standar.

#### 5.1.1 Pengujian Kadar Air

Kadar air tanah ( $w$ ) adalah nilai perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai kadar air sampel tanah yang akan di uji.

Contoh perhitungan kadar air ( $w$ ) sampel 1, menggunakan Persamaan 3.1 :

$$w = \frac{2-3}{3-1} = \frac{39,42-18,84}{18,84-12,94} \times 100 = 351,19\%$$

Dari hasil pengujian kadar air tanah ( $w$ ) maka dapat diketahui bahwa tanah gambut yang berasal dari Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang mempunyai nilai Kadar air rata-rata 352,13%. Tabel dan Hasil perhitungan kadar air secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 72 dan 73.

#### 5.1.2 Pengujian Berat Volume

Berat volume tanah ( $\gamma$ ) adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total tersebut. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai berat volume sampel tanah yang akan di uji. Contoh perhitungan berat volume ( $\gamma$ ) sampel 1, menggunakan Persamaan 3.2 :

$$\begin{aligned} \text{Volume ring} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 5,15^2 \times 2,46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 51,24 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat tanah basah (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 94,08 - 37,42 \\
 &= 56,67 \text{ gram} \\
 \text{Berat volume tanah } (\gamma_{\text{Unsat}}) &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{56,67}{51,24} \\
 &= 1,14 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian diatas dapat diketahui bahwa berat volume tanah rata-rata yang berasal dari Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang sebesar  $1,10 \text{ gr/cm}^3$ . Hasil perhitungan berat volume tanah asli secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 74 dan 75.

### 5.1.3 Pengujian Berat Jenis Tanah

Kadar berat jenis tanah ( $G_s$ ) adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu yang biasanya diambil pada suhu  $27,5^\circ \text{C}$

Contoh perhitungan berat jenis ( $G_s$ ) sampel 1, menggunakan urutan perhitungan sebagai berikut.

1. Berat tanah kering ( $W_s$ ) =  $W_2 - W_1$ 

$$\begin{aligned}
 W_{s1} &= 50,97 - 37,25 \\
 &= 13,72 \text{ gr}
 \end{aligned}$$
2.  $A_1$  =  $(W_s + W_4)$ 

$$\begin{aligned}
 &= 13,72 + 136,6 \\
 &= 150,32
 \end{aligned}$$
- $I_1$  =  $(A_1 - W_3)$ 

$$\begin{aligned}
 &= 150,32 - 140,89 \\
 &= 9,43
 \end{aligned}$$
3. Berat jenis tanah pada suhu ( $t^\circ \text{C}$ ), rumus :  $G_s(t^\circ \text{C}) = \frac{W_s}{I}$ 

$$\begin{aligned}
 G_{s1}(26^\circ \text{C}) &= \frac{13,72}{9,43} = 1,45
 \end{aligned}$$

4. Berat jenis tanah pada suhu ( $27,5^{\circ}\text{C}$ ), rumus :

$$G_s(27,5^{\circ}\text{C}) = G_s(t^{\circ}\text{C}) \times \frac{\gamma(t^{\circ}\text{C})}{\gamma(27,5^{\circ}\text{C})}$$

$$G_s(27,5^{\circ}\text{C}) = 1,45 \times \frac{0,9968^{\gamma(27,5^{\circ}\text{C})}}{0,9968} = 1,46$$

5. Berat jenis rata-rata  $G_{srt}(27,5^{\circ}\text{C})$

$$\begin{aligned} G_{srt} &= 1,46 + 1,45 \\ &= 1,45 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian diatas dapat diketahui bahwa berat jenis tanah rata-rata yang berasal dari Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang sebesar  $1,45 \text{ gr/cm}^3$ . Tabel dan Hasil perhitungan berat jenis tanah asli secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 76 dan 77.

#### 5.1.4 Pengujian Pemadatan Tanah (*Proctor Standart*)

Pengujian pemadatan proktor untuk mengetahui hubungan kadar air dengan berat volume tanah yang akan di uji, kegunaannya untuk mencari nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) dari tanah tersebut. Tingkat kepadatan suatu tanah diukur dari nilai berat volume keringnya ( $\gamma_d$ ). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air tanah selama volume total tanah tetap sama.

Pegujian laboratorium dilakukan penambahan air pada tanah asli dengan interval 100 ml sehingga didapatkan kadar air optimum dan volume kering maksimum. Pada interval penamahan air tertentu akan mengalami penurunan berat sampel uji tanah yang disebabkan oleh air yang mengisi rongga pori sebelumnya diisi oleh butiran padat sehingga antar butiran tanah sulit untuk merapat.

Contoh perhitungan berat volume tanah basah pada proktor standar, menggunakan

Persamaan 3.4 :

$$\gamma = \frac{2 - 1}{\dots}$$

$$\begin{aligned} \text{1) Berat volume tanah basah } \gamma &= \frac{2 - 1}{\dots} \\ &= \frac{2690 - 1750}{\dots} \\ &= 951,14 \\ &= 0,9 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan berat volume tanah basah setiap interval pada proktor standar secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 79 dan 80.

Dalam menentukan hubungan kadar air dan berat volume untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. (Proctor, 1933).

Dari nilai berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ), maka dicari nilai berat volume kering ( $\gamma_d$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ) yang dapat dinyatakan

dengan Persamaan 3.5 :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$$

Contoh perhitungan Berat Volume Tanah Kering ( $\gamma_d$ )

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Kadar Air } (w) &= \left[ \frac{W}{w} \times \% \right] / \left[ \frac{W - w}{w - w} \times \% \right] \\
 \text{Cawan a } (w_1) &= \left[ \frac{100}{100} \times \% \right] = 85,68 \% \\
 \text{Cawan b } (w_2) &= \left[ \frac{100}{100} \times \% \right] = 85,76 \% \\
 2) \text{ Kadar air rata-rata} &= \left[ \frac{w_1 + w_2}{2} \right] \\
 &= \frac{85,68 + 85,76}{2} \\
 &= 85,72 \% \\
 3) \text{ Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}} \\
 &= \frac{0,532}{1 + \frac{85,72}{100}} \\
 &= 0,532 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

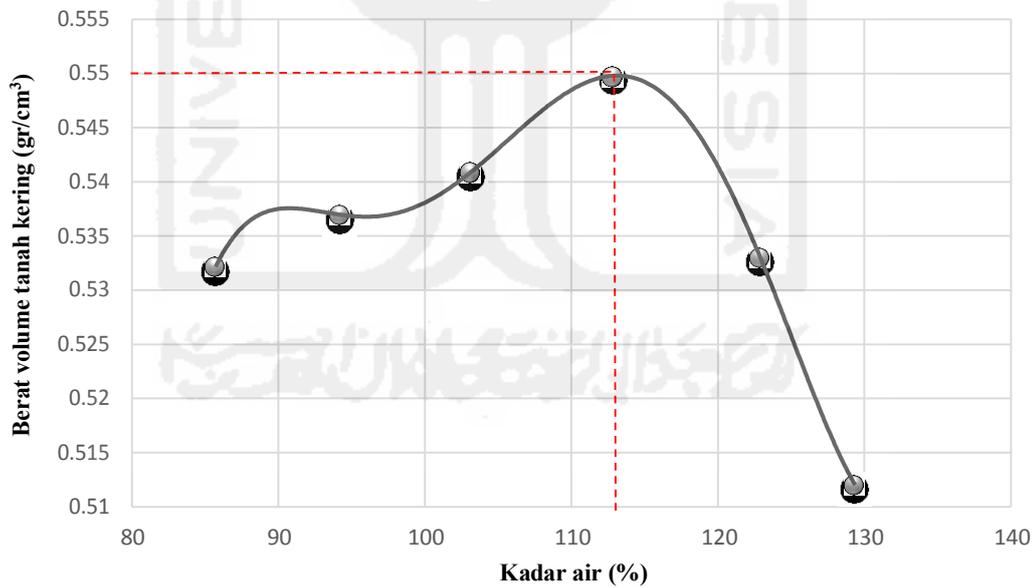
Dengan menggunakan perhitungan diatas dapat diketahui rekapitulasi perhitungan kadar air rata-rata dan berat volume kering setiap sampel interval penambahan air (sampel 1 = 100 ml, sampel 2 = 200 ml, sampel 3 = 400 ml, sampel 5 = 500 ml dan sampel 6 = 600 ml) seperti pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1** Nilai Kadar Air Rata-Rata ( $w$ ) dan Berat Volume Kering ( $\gamma_d$ ) Pengujian Proktor Standar

Sampel	1	2	3	4	5	6
Kadar air rata-rata (%)	85.72	94.24	103.13	112.84	122.89	129.36
Berat volume kering (gr/cm <sup>3</sup> )	0.532	0.537	0.541	0.550	0.533	0.512

Analisis dan tabel hasil perhitungan pengujian proktor standar secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 79 dan 80.

Dari hasil perhitungan di atas, maka dibuatlah kurva hubungan antara kadar air ( $w$ ) dan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ), dibuat dengan kadar air ( $w$ ) sebagai absis sedangkan berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ) sebagai ordinat. Puncak kurva ( $\gamma_d$ ) maksimum ditarik garis vertikal memotong absis, pada titik ini merupakan nilai besarnya kadar air optimum tanah asli. Kurva pemadatan tanah bisa di lihat pada Gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5.1** Grafik Hasil Pemadatan Proktor Standar Tanah Asli

Pada grafik diatas dapat dilihat hubungan kadar air rata-rata ( $w$ ) dan berat

volume kering ( $\gamma_d$ ) menghasilkan :

Kadar air optimum : 112,59%

Berat volume kering maksimum : 0,55 gr/cm<sup>3</sup>

### 5.1.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Fisik Tanah Asli

Rekapitulasi hasil pengujian fisik tanah asli yang berasal dari Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5.2** Rekapitulasi Hasil Pengujian Fisik Tanah Asli

No.	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kadar Air	352,13	%
2	Berat Volume Basah	1,10	gr/cm <sup>3</sup>
3	Berat Jenis ( $G_s$ )	1,45	gr/cm <sup>3</sup>
4	Uji Proktor Standar		
	Kadar Air Optimum	112, 84	%
	Berat Volume Kering Maksimal	0,55	gr/cm <sup>3</sup>

## 5.2 PENGUJIAN CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Pegujian *CBR* bertujuan untuk mendapatkan nilai *CBR*, yaitu perbandingan antara beban penetrasi tanah asli dari lokasi Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang yang dicampur dengan kapur dan *fly ash* dibandingkan dengan bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

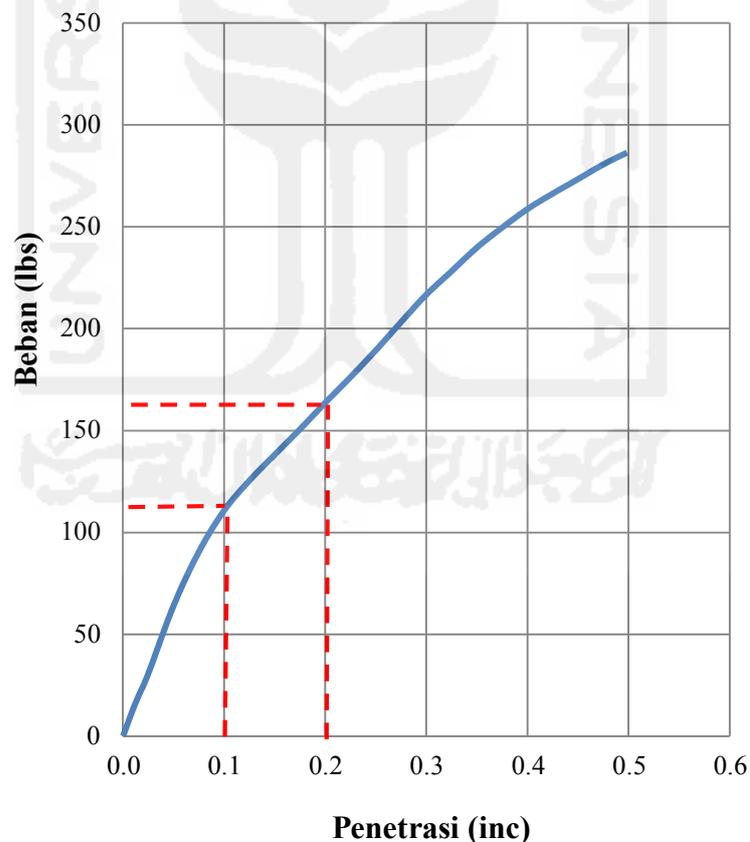
Pada pengujian *CBR* ini dilakukan dengan standar *ASTM D 1883*, dengan penetrasi yang dipakai mendekati 1,27 mm (0,005 inc). Pembacaan pembebanan pada dial alat uji *CBR* dengan interval penetrasi 0,025 (0,64 mm), sehingga mencapai penetrasi (12,4 mm). Perhitungan nilai *CBR* pada penetrasi 0,1 inchi menggunakan beban standar 70,31 (1000 psi) dan pada penetrasi 0,2 inchi menggunakan beban standar 105,47 kg (2000 psi). Jika ada koreksi grafik, beban yang dipakai adalah beban yang sudah di koreksi, yaitu pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inc) dan 5,08 mm (0,2 inc).

### 5.2.1 Contoh Analisis Pengujian CBR

Stabilisasi suatu tanah dapat dilihat dari nilai *CBR*. Pengujian *CBR* tanah bisa dilakukan dengan standar waktu pemeraman 0, 3 dan 7 hari.

*CBR* dilakukan dengan 2 macam pengujian, yaitu *CBR* tidak terendam (*unsoaked*) dan *CBR* terendam (*soaked*). Pada pengujian *CBR unsoaked* dan *soaked* dilakukan penumbukan sebanyak 56 kali kemudian dilakukan pengujian. Pada pengujian *CBR* terendam (*soaked*) setelah dilakukan penumbukan yang sama sampel uji direndam di bak air selama 4 hari dengan dipasang alat ukur pengembangan bebas (*free swell*).

Sebagai contoh perhitungan *CBR* dengan standar *ASTM D 1883* dapat dilihat pada hasil pengujian tanah asli sampel 1 pada Gambar 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.



**Gambar 5.2** Grafik Pengujian *CBR Unsoaked* Tanah Asli Sampel 1

**Tabel 5.3** Hasil Pembacaan Pengujian *CBR (Unsoaked)* Tanah Asli Sampel 1

penetrasi		pembacaan dial	beban	beban koreksi grafik
(inc)	(mm)	(div)	(lbs)	(lbs)
0.0000	0.00	0	0.00	0.00
0.0125	0.32	2	15.40	16.40
0.0250	0.64	8	33.60	30.60
0.0500	1.27	20	55.20	63.90
0.0750	1.91	30	73.40	90.40
0.1000	2.54	35	90.70	110.70
0.1250	3.18	40	106.40	125.40
0.1500	3.81	48	123.00	138.10
0.1750	4.45	52	147.70	150.60
0.2000	5.08	60	167.10	163.60
0.2250	5.72	68	179.20	176.20
0.2500	6.35	78	194.00	189.30
0.2750	6.99	90	210.00	203.20
0.3000	7.62	100	224.80	216.70
0.3250	8.26	103	231.30	228.20
0.3500	8.89	108	244.50	239.80
0.3750	9.53	110	250.40	249.60
0.4000	10.16	112	255.00	258.70
0.4250	10.80	120	263.30	266.30
0.4500	11.43	123	276.70	273.40
0.4750	12.07	130	286.41	280.60
0.5000	12.70	140	293.69	286.80

Nilai *CBR* pada penetrasi 0,1 inc dan penetrasi 0,2 inc dapat dihitung dengan perhitungan Persamaan (3.6 dan 3.7), dan didapatkan hasil berikut.

$$CBR_{0,1"} = \frac{110,7}{3 \times 1000} \times 100\% = 3,69\% \quad CBR_{0,2"} = \frac{163,6}{3 \times 1500} \times 100\% = 3,64\%$$

Pada perhitungan diatas didapat nilai *CBR* 0,1 inc sebesar 3,69 % dan nilai *CBR* 0,2 inc sebesar 3,64 %. Nilai *CBR* yang diambil pada penetrasi 0,1 inc atau nilai *CBR* yang terbesar yaitu 3,69 %.

### 5.2.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR

Pengujian CBR tanah pada penelitian ini dilakukan dengan waktu pemeraman 0, 3 dan 7 hari untuk semua variasi CBR *unsoaked* dan pada CBR *soaked* dilakukan perendaman 4 hari setelah pemeraman. Stabilisasi yang digunakan stabilisasi kimia, dimana tanah dicampurkan bahan *stabilizer* kapur dan *fly ash* pada prosentasi tertentu. Prosentase penambahan yang digunakan yaitu kapur : *fly ash* dengan variasi (5% + 0%), (5% + 5%), (5% + 15%) dan (5% + 25%).

Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) dilakukan pada semua variasi campuran *stabilizer* sedangkan CBR rendaman (*soaked*) dilakukan hanya pada variasi paling optimum dan pada variasi penambahan bahan kapur tanpa *fly ash* yaitu kapur : *fly ash* (5% + 0%). Pengujian CBR *soaked* pada variasi optimum bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai CBR di lapangan setelah dilakukan pemadatan yang berubah karena faktor cuaca semisal hujan dan sebagainya, sedangkan pengujian pada variasi hanya dengan penambahan bahan kapur tanpa *fly ash* untuk mengetahui seberapa besar peran kapur dalam stabilisasi ketika belum dicampurkan dengan *fly ash*.

Hasil rekapitulasi pengujian CBR *unsoaked* dan *soaked* yang berasal dari Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang dapat dilihat pada Tabel 5.4 sampai Tabel 5.6 berikut ini.

**Tabel 5.4** Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Tanah Asli

Jenis CBR	Nilai CBR
Tanah Asli Tanpa Rendaman ( <i>Unsoaked</i> )	3,72 %
Tanah Asli Rendaman ( <i>Soaked</i> )	3,42 %

**Tabel 5.5** Hasil *CBR Unsoaked* dengan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash*

Pemeraman (Hari)	Kadar variasi <i>fly ash</i> (%)			
	0	5	15	25
0 Hari	5,90 %	7,70 %	8,09 %	9,72 %
3 Hari	7,26 %	9,30 %	9,90 %	13,37 %
7 Hari	7,97 %	9,62 %	10,35 %	14,39 %

**Tabel 5.6** Hasil *CBR Soaked* (Pemeraman 7 Hari) dengan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash*

Kadar variasi <i>fly ash</i> (%)	Nilai <i>CBR</i> (%)
0	9,42
25	14,96

Hasil pengujian *CBR unsoaked* dan *soaked* di laboratorium secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 84 sampai 117.

### 5.3 PENGUJIAN PENGEMBANGAN (*SWELLING*)

Pengujian pengembangan (*swelling*) bertujuan untuk mendapatkan nilai pengembangan pada sampel pengujian setelah tanah distabilisasi dengan bahan *stabilizer* yaitu tanah dari lokasi Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang yang dicampur dengan kapur dan *fly ash*.

#### 5.3.1 Contoh Analisis Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Nilai pengembangan didapatkan dari perbandingan antara penambahan tinggi sampel yang direndam selama 4 hari (ketika pengujian *CBR soaked*) dengan

tinggi mula-mula sebelum direndam. Nilai pengembangan dinyatakan dalam persen dan dapat dihitung dengan Persamaan 3.8.

Contoh perhitungan pada sampel tanah asli sampel 1 rendaman hari ke-1 sebagai berikut.

$$S_w = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$S_w = \frac{0,25}{12} \times 100\%$$

$$S_w = 0,021 \text{ (2,1\%)}$$

Pengujian *free swell* dilakukan pada sampel tanah asli dan sampel variasi *CBR* paling optimum yaitu (kapur 5%+*fly ash* 25%). Untuk mengetahui seberapa peran bahan *stabilizer* kapur, pengujian juga dilakukan pada variasi kapur saja tanpa *fly ash* yaitu (kapur 5%+ *fly ash* 0%) dengan lama pemeraman yang sama di lama pemeraman optimum (7 Hari) sebelum dilakukan perendaman selama 4 hari.

### 5.3.2 Hasil Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Hasil pengujian *swelling* tanah yang berasal dari Desa Asinan, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Variasi Campuran Kapur + <i>fly ash</i>	Pemeraman	Nilai <i>swelling</i> (%) hari ke-			
		1	2	3	4
Tanah Asli	0 Hari	2,3	4,6	7,3	10
5% + 0%	7 Hari	2,1	3,8	4,6	5,0
5% + 25%	7 Hari	0.0	0.4	0.4	0.8

Rekapitulasi dan hasil perhitungan *swelling* secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 118 sampai 126.

## 5.4 PEMBAHASAN

Dalam sub bab ini akan diuraikan pembahasan data hasil pengujian-pengujian terhadap sifat fisik dan mekanik tanah asli juga hasil pengujian *CBR* laboratorium tanah asli dengan bahan tambah *stabilizer* dilanjutkan dengan perencanaan tebal lapis perkerasan lentur menggunakan Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2013.

### 5.4.1 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Gambut Asli

Berdasarkan klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)* tanah dibagi ke dalam tiga kelompok besar, yaitu tanah berbutir kasar tanah berbutir halus, dan tanah organik. Tanah yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah gambut, yang dimana kadar organiknya sangat tinggi memiliki tekstur berserat maka jika ingin mengetahui jenis tanah dalam pengklasifikasiannya *Unified Soil Classification System (USCS)* mengusulkan agar pengklasifikasiannya dilakukan secara visual (*ASTM D 2488*) dengan melihat sifat-sifat dari tanah gambut, mengidentifikasi warna, bau, tekstur, kadar air, partikel tumbuhan serta tanah mineralnya.

Sampel tanah gambut yang berasal dari Rawa Pening ini tidak dilakukan pengklasifikasian secara khusus mengingat tinggi kadar bahan organiknya. Namun demikian secara umum dapat dijelaskan bahwa sampel tanah yang digunakan berwarna coklat kehitaman, mempunyai serat yang cukup tinggi, serta memiliki kadar air yang sangat tinggi sebesar 352,13% Dilihat dari sifat fisik sampel ini dapat dipastikan bahwa tanah yang digunakan pengujian merupakan tanah gambut. Nilai berat jenis sebesar 1,45 dan berat volumenya sebesar 1,10 gr/cm<sup>3</sup>, ini menandakan bahwa tanah gambut yang diuji sangat ringan, sehingga apabila dicampur dengan air tanah gambut tersebut akan mengapung / atau berada diatas permukaan air. Dari penelitian sebelumnya Rakhman (2002), bahwa menurut *ASTM D 4427 – 92* (1997) tanah gambut Rawa Pening, berdasarkan kadar abu termasuk jenis *High Ash* karena mempunyai kadar abu 37,73%. Berdasarkan kadar serat yang dimiliki tanah gambut Rawa Pening termasuk dalam *Hemic* karena dari pengujian kadar seratnya

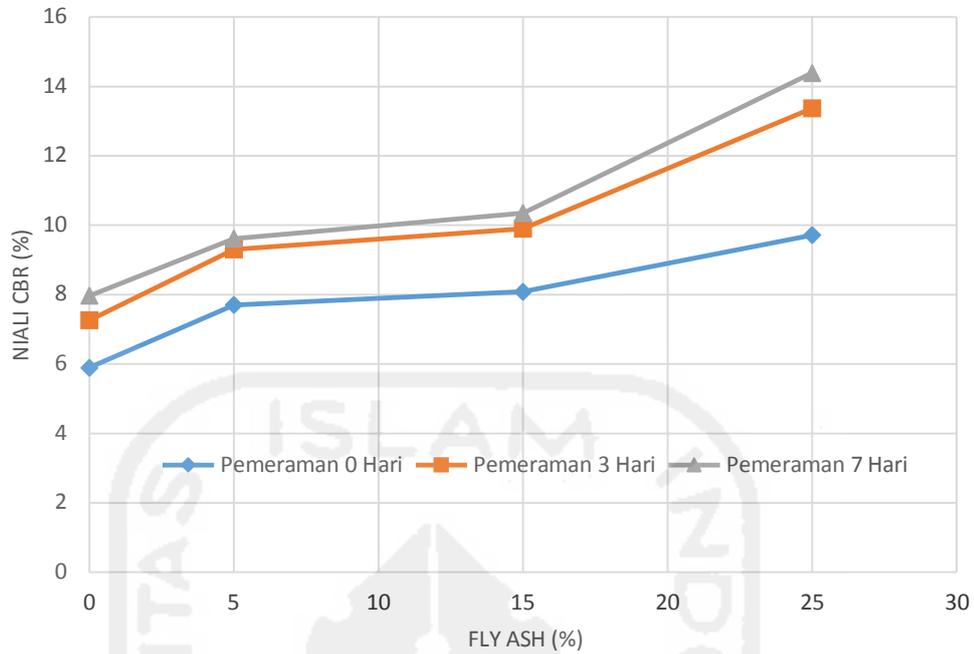
sebesar 62,27%. Dalam kemampuan menyerap air (*Absorbency*) tanah gambut Rawa Pening termasuk dalam *Moderately Absorbent*, hal ini dapat dilihat dari kadar air tanah aslinya sebesar 561,67%. Disimpulkan juga bahwa tanah gambut Rawa Pening termasuk dalam *Fibrous Peat* karena kandungan seratnya lebih besar dari 20% yaitu sebesar 96,171%.

Sifat mekanik tanah asli dilihat menggunakan pengujian *CBR* pada tanah asli. Hasil pengujian *CBR* tanah asli menunjukkan rendahnya nilai *CBR* rata-rata tanah asli, yaitu 3,72% untuk *CBR* tanpa rendaman (*unsoaked*) dan 3,42% untuk *CBR* rendaman (*soaked*), sehingga tanah gambut asli ini tergolong tanah yang membutuhkan stabilisasi.

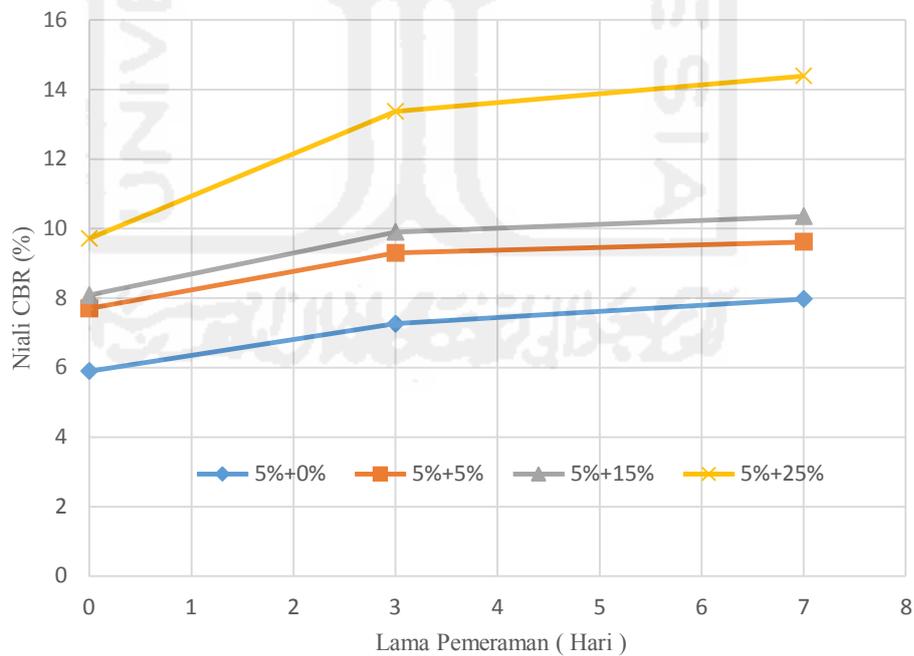
#### **5.4.2 Pengaruh Penambahan Kapur dan *Fly Ash* Terhadap Nilai *CBR* Tanpa Rendaman (*Unsoaked*).**

Setelah dilakukan pengujian Proktor Standar, maka dilakukan pengujian *CBR*. Pengujian *CBR* tanpa rendaman (*unsoaked*) dilakukan pada variasi kapur 5% dan *fly ash* (0%, 5%, 15% dan 25%) dengan lama pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari. Pengujian dilakukan pada semua sampel dengan menggunakan alat yang sama.

Berdasarkan data pada Tabel 5.3, dibuatlah grafik perbandingan nilai *CBR unsoaked* terhadap penambahan kapur dan *fly ash* serta terhadap lama pemeraman. Grafik perbandingan *CBR unsoaked* dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut.



**Gambar 5.3** Grafik Perbandingan Nilai *CBR* Terhadap Penambahan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash* Tanpa Rendaman (*unsoaked*)



**Gambar 5.4** Grafik Perbandingan Nilai *CBR* Dengan Penambahan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash* Tanpa Rendaman (*Unsoaked*) Terhadap Lama Pemeraman

Dari Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 terlihat bahwa nilai *CBR* tanah asli yang dicampurkan dengan kapur dan *fly ash* mengalami peningkatan nilai *CBR*, berbanding lurus dengan setiap penambahan prosentase kapur dan *fly ash*. Peningkatan ini diakibatkan oleh kapur sebagai *stabilizer* pendorong dari *fly ash* yang membuat kerja *fly ash* menguat signifikan seiring kadar penambanhan yang dilakukan. Lama pemeraman yang dilakukan juga mempengaruhi besarnya peningkatan nilai *CBR*, dimana semakin lama pemeraman yang dilakukan maka nilai kuat daya dukung tanah semakin meningkat. Nilai *CBR* terbaik (optimum) terjadi pada variasi (kapur 5%+*fly ash* 25%) pada pemeraman 7 hari.

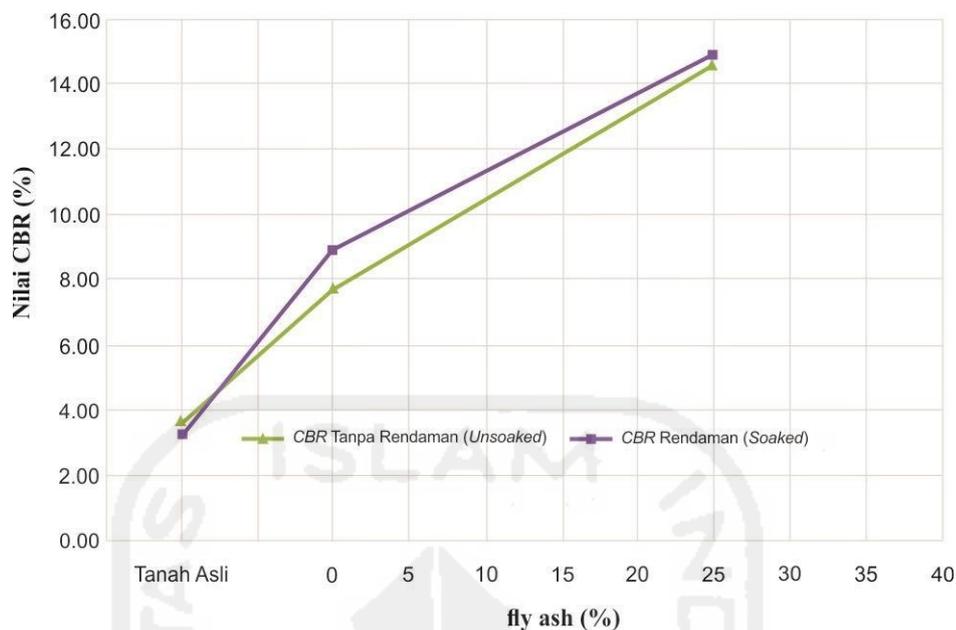
#### 5.4.3 Pengaruh Penambahan Kapur dan *Fly Ash* Terhadap Nilai *CBR* Rendaman (*Soaked*).

Pengujian *CBR* rendaman (*soaked*) dilakukan hanya pada dua jenis variasi, yaitu pada variasi optimum (kapur 5% + *fly ash* 25%) dan variasi kapur tanpa *fly ash* (kapur 5% + *fly ash* 0%) dengan dilakukan pemeraman terlebih dahulu selama 7 hari pemeraman.

Berdasarkan data pada Tabel 5.8 berikut, dibuatlah grafik perbandingan nilai *CBR* tanah asli dengan campuran bahan *stabilizer* paling optimum (kapur 5%+*fly ash* 25%) dan bahan kapur tanpa *fly ash* (kapur 5%+*fly ash* 0%) dengan pengujian *unsoaked* dan *soaked* pada lama pemeraman paling optimum yaitu 7 hari. Grafik perbandingan *CBR* dapat dilihat pada Gambar 5.5 setelah Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8** Perbandingan Hasil Pengujian *CBR Unsoaked* dan *Soaked* Pemeraman 7 hari dengan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash*

Variasi Campuran <i>fly ash</i> (%)	<i>CBR</i> Tanpa Rendaman ( <i>unsoaked</i> )	<i>CBR</i> Rendaman ( <i>soaked</i> )
Tanah Asli	3,72 %	3,42 %
0	8,19 %	9,42 %
25	14,39 %	14,96 %



**Gambar 5.5** Grafik Perbandingan Nilai *CBR* Pemeraman 7 Hari Tanpa Rendaman (*Unsoaked*) dan Rendaman (*Soaked*) Terhadap Penambahan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash*

Pada Gambar 5.5 terlihat terjadinya kenaikan nilai nilai daya dukung tanah pada pengujian dengan rendaman (*soaked*) mengalami peningkatan signifikan, namun nilai *CBR* antara *CBR unsoaked* dan *CBR soaked* tidak ada perbedaan signifikan, sehingga nilai *CBR* pada kondisi *unsoaked* dan *soaked* bisa dianggap sama. Perbandingan ini menunjukkan bahwasannya tanah yang dilakukan pemeraman dalam waktu 7 hari sudah mencapai tingkat kepadatan maksimum, sehingga rongga-rongga udara pada tanah sudah tidak bisa terisi oleh air dan tanah tidak menjadi lembek.

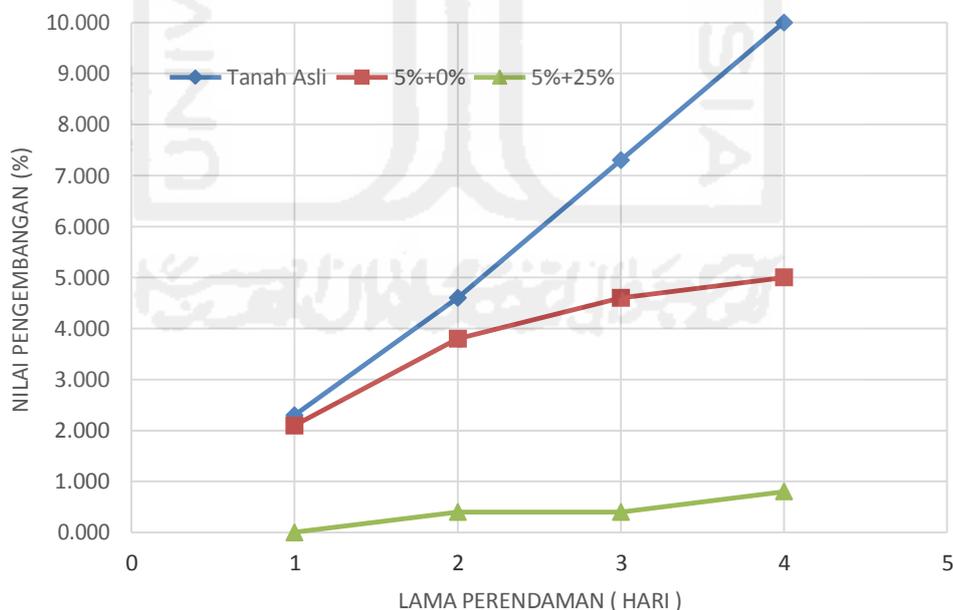
Peran kapur tanpa *fly ash* (5%+0%) memiliki peran yang besar sebagai *stabiler* pendorong dalam mengikat tanah, dimana tanah meningkat nilai *CBR*-nya dari nilai *CBR* tanah asli sebelum dicampur yaitu dari 3,72% menjadi 8,19%. Pada variasi optimum kapur dan *fly ash* (5%+25%) terlihat terjadinya peningkatan nilai *CBR* yang signifikan, sehingga bisa dikatakan kapur yang dicampurkan dengan bahan *fly ash* dapat bereaksi dengan baik dalam mengikat tanah yang menjadikan nilai daya dukung tanah meningkat. Peningkatan yang terjadi pada variasi optimum

dari tanah asli yang bernilai 3,72% menjadi 14,39% untuk *CBR unsoaked* dan nilai 3,42% menjadi 13,01% pada *CBR soaked*.

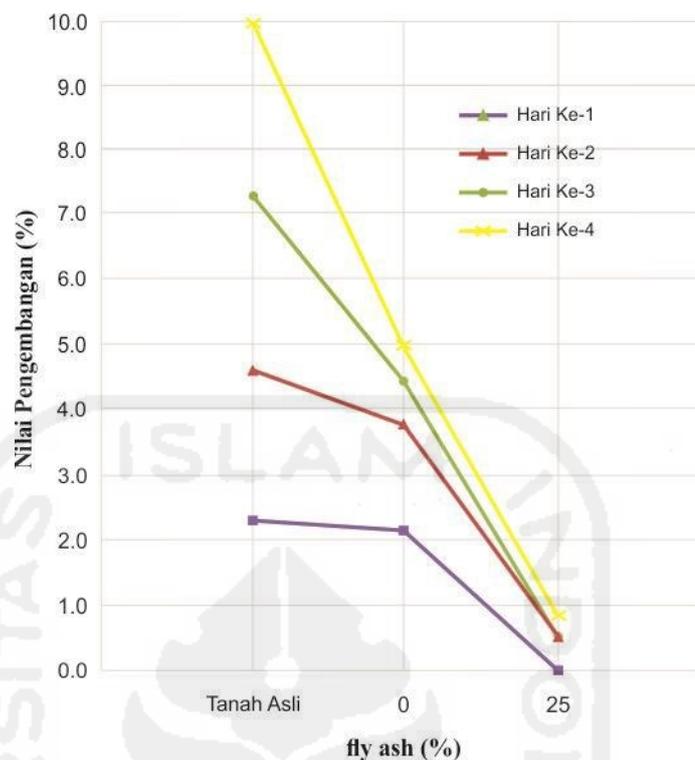
#### 5.4.4 Pengaruh Penambahan Kapur dan *Fly Ash* Terhadap Nilai Pengembangan (*Swelling*)

Pada pengujian *CBR Rendaman (soaked)* dilakukan pengujian pengembangan (*swelling*) pada sampel uji dengan meletakkan alat ukur pengembangan pada alat uji dan dilakukan pembacaan dial pada jarum alat uji selama 4 hari perendaman.

Dengan Tabel 5.7 dibuatlah grafik perbandingan nilai pengembangan tanah asli, tanah yang dicampurkan *stabilizer* pada variasi optimum (kapur 5%+*fly ash* 25%) dan tanah yang dicampurkan kapur tanpa *fly ash* yaitu variasi (kapur 5%+*fly ash* 0%) yang diperam terlebih dahulu selama lama pemeraman optimum (7 hari) kemudian di rendam selama 4 hari. Grafik perbandingan nilai *swelling* dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5.6** Grafik Perbandingan Nilai *Swelling* (Pemeraman 7 Hari Kemudian Direndam 4 Hari) Terhadap Lama Perendaman



**Gambar 5.7** Grafik Perbandingan Nilai *Swelling* (Pemeraman 7 Hari Kemudian Diredaman 4 Hari) Terhadap Variasi *Fly Ash*

Pada Gambar 5.6 terlihat terjadinya pengembangan yang signifikan pada tanah asli yaitu mencapai nilai sebesar 10% pada hari ke-4. Karena tanah yang digolongkan sebagai tanah berpotensi mengalami pengembangan (*swelling*) jika nilai pengembangan melebihi 5% (Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM2013). Pada variasi kapur tanpa *fly ash* 5%+0% mempunyai peran yang baik dalam menurunkan nilai pengembangan tanah asli yaitu mencapai 5%, terlebih pada variasi optimum (5%+25%) pengembangan mengecil hingga mencapai 0,8%.

Pada Gambar 5.7 terlihat semakin besar variasi *fly ash* maka semakin kecil nilai pengembangan.. Menurunnya nilai pengembangan (*swelling*) yang terjadi disebabkan peran kapur yang tinggi sebagai *stabilizer* pendorong *fly ash* yang menyebabkan sampel yang diperam selama 7 hari mengalami kepadatan maksimal sehingga ketika dilakukan perendaman air sulit untuk masuk ke rongga-rongga tanah. Terlebih yang terjadi pada variasi optimum (5+25%) sudah tidak mengalami pengembangan lagi yakni hanya terjadi 0,8% saja.

#### 5.4.5 Pengaruh Penambahan Kapur dan *Fly Ash* Terhadap Tebal Lapis Perkerasan Dengan Metode Desain Perkerasan Bina Marga 2013

Perencanaan Tebal Perkerasan dilakukan dengan Metode Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2013 dilanjutkan dengan Metode Desain Perkerasan Jalan 2002 karena dalam prosedurnya kedua metode ini saling berkaitan. Perencanaan yang dilakukan dengan membandingkan hasil tebal perkerasan pada *CBR* Tanah Asli dan beberapa variasi *CBR* hasil stabilisasi kapur dan *fly ash* pada pemeraman optimum selama 7 hari. *CBR* yang dipakai adalah nilai *CBR* tidak terendam (*unsoaked*).

##### a) Desain Tebal Lapis Perkerasan Dengan BM 2013

Sebagai contoh dilakukan perencanaan tebal lepas perkerasan menggunakan *CBR* tanah asli sebelum dilakukan stabilisasi yaitu dengan nilai *CBR* sebesar 3,72%.

Diketahui data-data penunjang untuk perencanaan tebal lapis perkerasan diantaranya sebagai berikut.

1. Data tanah dasar = 3,72 %
2. Umur rencana = 20 Tahun
3. Data lalu lintas Jl. Solo-Semarang Km. 22

**Tabel 5.9** Data Lalu Lintas Rencana

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (kend/hari/arah)	Konfigurasi Sumbu
1	Sepeda Motor	11587	1.1
2	Mobil Penumpang	7890	1.1
3	Bus	645	1.2
4	Truk 2 As Sumbu sedang	410	1.2
5	Truk 3 As Sumbu ringan	163	1.22

Sumber : Dinas Perhubungan Kab. Semarang, 2017

### 1. Penentuan Umur Rencana

Digunakan umur rencana 20 tahun, didapat dari Tabel 2.1 Lampiran halaman 127

### 2. Faktor Pertumbuhan Lalu lintas

Digunakan faktor pertumbuhan lalu lintas ( $i$ ) kolektor rural sebesar 3,5% didapat dari Tabel 4.1 Lampiran halaman 127, untuk menghitung faktor pengali pertumbuhan lalu lintas digunakan persamaan 5.1 agar didapat nilai  $R$ .

$$R = \frac{(1 + 0.01(i)^{UR}) - 1}{0.01(i)} \times 100\% \quad \text{Pers. (5.1)}$$

Keterangan :

$R$  = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

$i$  = tingkat pertumbuhan tahunan (%)

$UR$  = umur rencana tahun (tahun)

$$R = \frac{(1 + 0.01(0,05)^{UR}) - 1}{0.01(0,05)} \times 100\%$$

$$R = 20.006 .$$

### 3. Faktor Distribusi Lajur dan Kapitas Lajur

Digunakan faktor distribusi lajur dan kapasitas lajur sejumlah 2 lajur dengan kendaraan per lajur sebesar 80% didapat dari Tabel 4.2 Lampiran halaman 127.

### 4. Rencana Volume Lalulintas

Menentukan  $CESA_4$  dengan menentukan nilai lalu lintas harian rencana dapat dihitung dengan **Persamaan 5.2** berikut.

$$ESA = (\sum \text{Jenis kendaraan LHR} \times VDF) \quad \text{Pers. (5.2)}$$

Keterangan :

$ESA$  = lintas sumbu standar ekivalen (*equivalent standart axle*)

LHRT = lintas harian rata-rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu

$VDF$  = *Vehicle Damage Factor* (Tabel 4.5 Lampiran 128)

Sehingga dari perhitungan diatas didapatkan nilai Volume lalulintas harian rata-rata seperti pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.10 Volume Lalulintas Harian Rata-rata

Jenis Kendaraan	LHR (Kend/hari/ arah)	VDF <sub>4</sub>	LHR x VDF <sub>4</sub> = ESA
Sepeda Motor (1.1)	11587	0	0
Mobil Penumpang (1.1)	7890	0	0
Bus (1.2)	645	1	645
Truk 2 As (1.2) Sumbu sedang	410	1.6	656
Truk 3 As (1.22) Sumbu ringan	163	7.6	1238.8
<b>Total ESA</b>			2539.8

### 5. Perhitungan Nilai $CESA_4$

Untuk menghitung nilai  $CESA_4$ , diawali dengan menghitung  $ESA$  (*Equivalent Standart Axle*) dengan Persamaan 5.2 setelah didapat nilai  $ESA$  maka dihitung nilai  $CESA_4$  dengan Persamaan 5.3.

$$CESA_4 = \sum ESA \times 365 \times R \times D_L \quad \text{Pers. (5.3)}$$

Keterangan :

$CESA$  = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana

$R$  = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

$D_L$  = Faktor distribusi lajur

$$CESA_4 = \sum ESA \times 365 \times R \times D_L$$

$$= 2539.8 \times 365 \times 20 \times 0.8$$

$$= 18.546.706,02$$

$$= 18,55 \times 10^6 \text{ lss/umur rencana/lajur rencana}$$

### 6. Menentukan nilai *Traffic Multiplier (TM)*

Nilai  $TM$  kelelahan lapisan aspal berkisar antara 1,8 – 2, maka digunakan nilai  $TM$  sebesar 2 dikarenakan lalu lintas yang tinggi.

### 7. Perhitungan $CESA_5$

$$CESA_5 = TM \times CESA_4$$

$$= 2 \times 18,55 \times 10^6$$

$$= 37,09 \times 10^6 \text{ lss/umur rencana/lajur rencana}$$

## 8. Desain Pondasi Jalan

Nilai *CBR* Tanah Asli untuk perencanaan tanah dasar yang belum dilakukan stabilisasi (tanah asli) tidak memenuhi syarat perencanaan, sehingga dalam Tabel Solusi Desain Pondasi Jalan (Bagan Desain 2 Lampiran halaman 129) direkomendasikan untuk dilakukan perbaikan stabilisasi dengan kapur atau timbunan pilihan. Nilai *CBR* tanah asli sebesar 3,72% dan lalu lintas lajur desain ( $CESA_5$ ) > 4 juta, maka tebal timbunan pilihan yang dilakukan sebesar 300 mm.

## 9. Menentukan jenis perkerasan

Dalam menentukan jenis perkerasan yang dipakai disesuaikan dengan estimasi lalu lintas, umur rencana menace pada tabel dalam Manual Disain BM 2013. Dari tabel  $CESA_4$  (Tabel 3.1 Lampiran halaman 129), berada pada nilai antara 10-30 juta, sehingga dipilih *AC WC* modifikasi atau SMA dengan *CTB* (Pangkat 5).

## 10. Desain Tebal Perkerasan Lentur

Dengan memasukkan nilai  $CESA_5$  pada Bagan Desain 3 di Lampiran 40 didapat tebal perkerasan rencana untuk lapisan beraspal sebagai berikut.

**Tabel 5.11** Tabel Hasil Desain Lapis Perkerasan  
BM 2013 Pada *CBR* Tanah Asli

No	Lapisan	Tebal Perkerasan (cm)
1	<i>AC WC</i>	4
2	<i>AC BC</i>	15.5
3	LPA	15
4	LPB	15
5	Tanah dasar	Dilakukan perbaikan dengan timbunan pilihan dengan tebal 30 cm

Dengan cara yang sama, dilakukan perencanaan tebal lapis perkerasan pada variasi *CBR* tanah dasar hasil dari stabilisasi kapur dan *fly ash* (0%, 5%, 15% dan 25%). *CBR* yang digunakan adalah pada pemeraman terlama yaitu 7 hari.

Hasil desain tebal lapis perkerasan menggunakan Metode Desain BM 2013 setiap variasi *CBR* diperoleh ketebalan perkerasan yang sama ( $AC\ WC= 4$  cm,  $AC\ BC= 15,5$  cm,  $LPA= 15$  cm dan  $LPB= 15$  cm), hanya berbeda rekomendasi desain tanah dasar. Apabila *CBR* tidak memenuhi syarat minimum *CBR*, maka direkomendasikan untuk dilakukan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan yang berbeda-beda. Rekapitulasi desain tanah dasar tanah asli dan variasi *CBR* hasil stabilisasi dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5.12** Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Lapis Pondasi *Subgrade* Stabilisasi Dengan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash*

No	<i>fly ash</i> (%)	<i>CBR</i> (%)	Tebal Timbunan <i>Subgrade</i> (cm)
1	Tanah Asli	3,72	30
2	0	8,19	$CBR \geq 6\%$ tidak perlu timbunan
3	5	9,62	$CBR \geq 6\%$ tidak perlu timbunan
4	15	10,35	$CBR \geq 6\%$ tidak perlu timbunan
5	25	14,39	$CBR \geq 6\%$ tidak perlu timbunan

Pada Tabel 5.12 terlihat pada *CBR* tanah asli di rekomendasikan untuk dilakukan timbunan pilihan dengan tebal 30 cm, sedangkan untuk *CBR* hasil stabilisasi kapur dan *fly ash* dari mulai penambahan *fly ash* 0% sampai 25% sudah memenuhi syarat lapis pondasi tanah dasar sehingga tidak perlu dilakukan perbaikan atau diberikan timbunan pilihan.

#### **b) Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Menggunakan Bina Marga 2002**

Sebagai contoh, dilakukan desain tebal lapis perkerasan jalan pada *CBR* tanah asli sebelum dilakukan stabilisasi, dengan perhitungan desain sebagai berikut.

##### **1. Jenis lapis permukaan : Laston (MS 744)**

Dengan menggunakan Tabel 6 dan Tabel 7 Lampiran 41 didapat Indeks permukaan awal umur rencana ( $IP_0$ ) diperoleh  $IP_0 = 3,9 - 3,5$  maka direncanakan  $IP_0 = 3,5$ .

Dengan menggunakan Tabel 6 dan Tabel 7 Lampiran halaman 131 didapat Indeks permukaan awal umur rencana ( $IP_0$ ) diperoleh  $IP_0 = 3,9 - 3,5$  maka direncanakan  $IP_0 = 3,5$ . Indeks permukaan akhir umur rencana ( $IP_t$ ) klasifikasi jalan kolektor dipakai  $IP_t = 2,0$ .

## 2. Perhitungan Angka Ekuivalen (E)

Angka ekuivalen yang digunakan adalah nilai  $VDF$  BM 2013. Diasumsikan nilai  $SN = 5,9$  yang kan disesuaikan dengan  $SN$  sebenarnya (*trial an error*).

## 3. Lalu lintas pada jalur rencana

Lalu lintas lajur rencana ( $w_{18}$ ) digunakan data yang sama dengan nilai dari Desain BM 2013 yaitu sebesar  $37,09 \times 10^6$  lss/umur rencana/lajur rencana

## 4. Reliabilitas

Direncanakan nilai reliabilitas untuk jalan kolektor antar kota sebesar = 95%, deviasi standar ( $S_0$ ) = 0,4 maka dengan Tabel 2 Lampiran halaman 131 diperoleh nilai  $Z_R = -1,645$

## 5. Modulus Resilien (MR)

$$MR = 1.500 \times CBR$$

Keterangan :

$MR$  = Modulus Resilien

$CBR$  = *California Bearing Ratio*

Maka diperoleh nilai  $MR = 1.500 \times 3.72 = 5.580$  psi.

## 6. Koefisien drainase (m)

Diasumsikan jalan memiliki drainase jelek dipengaruhi kadar air jenuh, pada Tabel 5 Lampiran halaman 131 dipilih nilai  $m_2 = 1,2$  dan  $m_3 = 1,2$ .

## 7. Koefisien kekuatan relatif

Dengan nomogram pada Lampiran halaman 132-134 diperoleh :

a) Laston MS 744 dengan  $E_{AC} = 400.000$  psi, dengan nilai  $a_1 = 0,40$

b) Lapis pondasi granular atas :

Dipilih Batu Pecah Kelas A dengan nilai  $CBR$  100%, maka dihasilkan

$$E_{BS} = 30.000 \text{ psi dan } a_2 = 0,13$$

c) Lapis pondasi granular bawah :

Dipilih Sirtu Kelas A dengan nilai  $CBR$  70%, maka dihasilkan nilai

$$E_{SB} = 16.000 \text{ psi dan } a_3 = 0,12$$

Material pendukung tepat di bawah lapis pondasi bawah adalah tanah dasarnya. Jadi, untuk menghitung  $SN_3$  digunakan modulus resilien tanah dasar  $MR = 5.580 \text{ psi}$ ;  $R = 95\%$ ;  $S_0 = 0,4$ ;  $W_{18} = 37,09 \times 10^6$ ;  $\Delta \text{ PSI} = 1,5$  menggunakan nomogram pada Lampiran halaman 135 dihasilkan  $SN_3 = 5,9$  sehingga tebal lapis perkerasan aspan beton sebagai berikut.

### 8. Tebal Perkerasan

Rumus dasar Pd T-01-2002-B disesuaikan dengan *AASHTO* '93 dan dihasilkan perhitungan  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_3$  sebagai berikut.

Pada nomogram Lampiran halaman 135 menggunakan modulus lapis pondasi atas 30.000 psi sebagai modulus resilien tanah dasar, didapat  $SN_1 = 4,2$  dan tebal lapis beton aspal yang diperlukan sebagai berikut.

$$D_{1*} = \frac{S_{a1}^1}{0,40} = \frac{4,2}{0,40} = 8 \text{ inchi}$$

$$SN_{1*} = a_1 \times D_{1*} = 0,40 \times 8 = 3,20$$

Seperti pada lapis beton aspal dengan menggunakan nomogram Lampiran halaman 135 namun menggunakan modulus lapis pondasi bawah 16.000 psi sebagai modulus resilien tanah dasar, didapat  $SN_2 = 4,2$  dan tebal lapis pondasi yang diperlukan sebagai berikut.

$$D_{2*} = \left( \frac{S_2 - S_{1*}}{a_2 \cdot m_2} \right)$$

$$= \left( \frac{4,2 - 3,20}{0,14 \cdot 1,2} \right)$$

$$= 4,76 \text{ (5 inchi) dipakai 6 inchi}$$

$$SN_{2*} = a_2 \times m_2 \times D_{2*} = 0,14 \times 1,2 \times 6 = 1$$

Adapun tebal lapis pondasi bawah didapat sebagai berikut.

$$D_{3*} = \left( \frac{S_3 - (S_{2*} + S_{1*})}{a_3 \cdot m_3} \right)$$

$$= \left( \frac{5,9 - (3,20 + 3,20)}{0,12 \cdot 1,0} \right)$$

= 11,8 (12 inchi)

Diperoleh tebal perkerasan  $D_1 = 8$  inchi = 20 cm ;  $D_2 = 6$  inchi = 15 cm  
dan  $D_3 = 12$  inchi = 30 cm

Dengan cara yang sama, maka dilakukan desain tebal lapis perkerasan pada beberapa variasi *CBR* hasil stabilisasi kapur dan variasi *fly ash* (0%, 5%, 15%, dan 25%). Lama pemeraman yang dipakai pemeraman paling lama yaitu selama 7 hari. Hasil Rekapitulasi desain tebal lapis perkerasan beberapa variasi *CBR* dengan Metode Desain Perkerasan Bina Marga 2002 dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5.13** Tabel Rekapitulasi Hasil Desain Tebal Lapis Perkerasan Dengan Desain Perkerasan Bina Marga 2002

No	<i>fly ash</i> (%)	<i>CBR</i> (%)	Lapis Perkerasan (cm)			
			Laston	Lapis Pondasi Atas	Lapis Pondasi Bawah	
					Desain	Dipakai
1	Tanah Asli	3,72	20	15	30	30
2	0	8,19	20	15	12,5	15
3	5	9,62	20	15	7,5	15
4	15	10,35	20	15	2,5	15
5	25	14,39	20	15	0	0

Dari Tabel 5.13 di atas terlihat hasil perencanaan tebal lapis perkerasan menggunakan Metode Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2002 pada *CBR* tanah asli menghasilkan tebal perkerasan yang sangat tebal, hal ini disebabkan tanah belum dilakukan stabilisasi atau diberi timbunan pilihan yang menyebabkan dibutuhkannya tebal lapis perkerasan yang tebal. Tanah yang sudah dilakukan stabilisasi dengan kapur 5% dan variasi *fly ash* (0%, 5%, 15%, dan 25%) menghasilkan tebal perkerasan semakin kecil seiring bertambah besarnya variasi *fly ash*, bahkan untuk *CBR* terbesar 14,39% tidak diperlukan tebal lapis pondasi bawah. Hasil perhitungan tebal perkerasan dengan Metode Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2002 secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran halaman 136-142.