

PENGARUH KADAR AIR DAN NILAI *MATRIC SUCTION* DALAM PENENTUAN PARAMETER TEKNIS TANAH JENUH SEBAGIAN

Herlinawati¹,

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gajah Mada, Indonesia

nanabastari_7262@yahoo.com

ABSTRACT:

A change partially saturated soil conditions(unsaturated) becomes saturated(saturated) as a result of the changing seasons will cause problems in the geotechnical field. Changes in water content due to precipitation, evaporation and evapotranspiration will affect the soil shear stress. Partially saturated soil behavior is more complex than the saturated soil. The extent to which the influence of matric suction value, a measure of the soil saturated portion of the soil shear strength changes the purpose of this study.

The soil type is silt lempungan used in Unggaran Sta18+600. Specimens made by field density(d_r , field) with variations in water content. Measurement of matric suction values was conducted using filter paper which refers to the ASTM D5298-03. Direct shear testing performed by water content variation store present changes in the value of matric suction.

According to the USCS, the soil including soil type MH with field water content in the soil subgrade 50.7 % did not meet highway subgrade. The relationship between water content and degree of saturation and matric suction can be described through the SWCC curve fitting and estimates contained in SoilVision 4.19. SWCC fitting is suitable for use while Brooks and Corey Fredlund and Wilson PTF suitable to represent the SWCC curve estimation. SWCC curve estimates are quite far from the experimental data to test the filter paper still needs to be done. SoilVision program is very useful for describing both the SWCC curve fitting and estimation methods. From the research, it was found that the water content contained in the soil will affect value of matric suction, shear strength parameters of the soil and its CBR value. The higher water content or degree saturation of the soil, the more value of matric suction, the soil shear strength parameters (cohesion and angle of friction in) as well as its CBR value will fall.

KEYWORDS: *matric suction, filter paper, SWCC*

1. PENDAHULUAN

Jalan tol Semarang - Solo sebagai salah satu jalan regional utama yang menghubungkan wilayah Utara-Selatan dan Timur- Barat merupakan jalan Tol Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Jalan Semarang – Solo memiliki panjang 75,7 km Semarang dengan dibangun tahun 2009 oleh Jasa Marga dan selesai tahun 2012. Pembangunan jalan tol tersebut diharapkan mampu meningkatkan pertumbuhan ekonomi Jawa Tengah, karena memiliki fungsi yang strategis yaitu sebagai penghubung Unggaran sebagai yang merupakan kawasan industri dengan kota Semarang.

Penelitian di laboratorium perlu dilakukan dengan cara mengambil sample tanah sekitar KM 18+600 **Gambar 1** untuk kemudian dilakukan uji di laboratorium. Pada ruas jalan atas tanah timbunan di KM 18+600, maka perlu dilakukankajian terhadap

- 1) sifat-sifat fisis dan sifat mekanis tanah (CBR dan kuat geser),
- 2) pengaruh perubahan kadar air akibat pengaruh hujan di lokasi tersebut terhadap sifat fisis dan mekanis,

- 3) sifat-sifat fisis dan sifat mekanis tanah (CBR dan kuat geser),
- 4) pengaruh perubahan kadar air akibat pengaruh hujan di lokasi tersebut terhadap sifat fisis dan mekanis,
- 5) perilaku tanah dan usaha-usaha penanggulangannya, sehingga untuk mendapatkan karakteristik tanah lempung yang diperlukan pengambilan sampel guna dilakukan uji di laboratorium.



Gambar 1 Lokasi pengambilan Sample KM 18+600.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. mengukur dan menentukan nilai *matric suction* dengan *filter paper* untuk berbagai derajat kejenuhan (S_r) dengan variasi kadar air pada α konstan,
2. menentukan *soil water characteristic curve* (SWCC) berdasarkan *fitting* dan estimasi pada *SoilVision 4.19*,
3. mengetahui dan mengevaluasi pengaruh nilai *matric suction* terhadap parameter kuat geser tanah dan CBR untuk variasi kadar air α konstan.

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

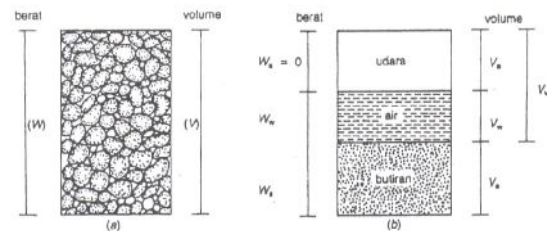
Tanah mempunyai peranan yang sangat penting dalam mendukung suatu bidang pekerjaan konstruksi yang berdiri di atasnya. Penurunan tanah dipengaruhi oleh parameter tanah dan daya dukung tanah itu sendiri. Parameter yang digunakan untuk analisa masalah yang ada kaitannya dengan penurunan salah satu adalah parameter kuat geser (c dan ϕ) serta pengaruh *suction* pada kuat geser dengan variasi derajat kejenuhan (S_r) (Kusnadi, 2005).

Pramusandi, 2010 melakukan simulasi numeris untuk analisis deformasi yang dipengaruhi perubahan tekanan air pori akibat hujan dengan

menggunakan *software* yang berbasis Metode Elemen Hingga yaitu SIGMA/W dan SEEP/W dari GEO-STUDIO 2004, untuk mendapatkan sifat teknis tanah pada kondisi *unsaturated* dilakukan uji laboratorium dan menggunakan *software SoilVision Database* serta untuk analisis frekuensi curah hujan digunakan *software Havarra* yang merupakan pendekatan statistik.

A. Sifat Teknis Tanah

Tanah terdiri dari tiga fase yaitu butiran tanah, air dan udara. Hubungan dasar dari berat dan volume ada partikel tanah, air, udara merupakan bentuk paling mendasar dalam analisis sifat-sifat teknis tanah. Diagram fase tanah dapat dilihat pada **Gambar 2**



Gambar 2 Diagram fase tanah (Hardiyatmo, 2002).

Dari **Gambar 2** dapat dibentuk **hubungan**:

$$W = W_s + W_w \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$V = V_s + V_v \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad \dots\dots\dots(3)$$

Hubungan tersebut berguna untuk memberikan analisa lebih lanjut mengenai sifat-sifat dan kekuatan tanah. Beberapa hubungan yang dapat dibentuk diantaranya:

B. Kadar air

Kadar air tanah (w) merupakan perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) yang terkandung dalam tanah yang dinyatakan dalam (%). Besarnya kadar air dapat dinyatakan dalam **hubungan 4** sebagai berikut

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

Hardiyatmo (2002) menyebutkan gravitas khusus berbagai jenis tanah seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel .1 Gravitas khusus (Hardiyatmo, 2002)	
<i>Macam Tanah</i>	<i>Gravitas khusus (G_s)</i>
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

C. Sistem klasifikasi Tanah

Tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah kohesif dan non-kohesif atau tanah berbutir halus dan berbutir kasar. Istilah tersebut masih bersifat umum sehingga klasifikasi tersebut dirasa kurang lengkap untuk menentukan apakah tanah itu dapat digunakan untuk memikul beban bangunan konstruksi secara teknis atau tidak. Sistem ini menggunakan sifat teknis tanah yang relatif sederhana seperti batas konsistensi, distribusi ukuran butiran, dan gravitasi khusus.

D. Unified Soil Classification System (USCS)

Sistem klasifikasi ini membagi tanah menjadi 3 kelompok besar yakni tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah organik. Batas antara tanah berbutir halus dan berbutir kasar adalah pada lubang ayakan No.200 (0.075 mm).

Tanah berbutir kasar diberi simbol dan dibagi menjadi tanah kerikil (G) atau pasiran (S), tergantung pada batasan 50% butiran yang dapat dilihat lebih besar daripada ayakan no.4 yang selanjutnya masing-masing dibagi menjadi 4 kelompok besar yaitu:

- W : bergradasi baik jika koefisien keseragaman ($C_u > 4$), agak baik ($< 5\%$ lebih halus dari 0.075 mm),
- P : bergradasi buruk ($C_u < 4$ untuk kerikil atau pasir), agak baik ($< 5\%$ lebih halus dari 0.075 mm),
- C : clay (lempung) jika ($> 12\%$ lebih halus dari 0.075mm), halus non plastis atau lanau ($P_L > 7$, jika digambarkan dalam gambar klasifikasi tanah USCS di atas garis A dalam grafik plastisitas),
- M : silt (lanau) jika (12% lebih halus dari 0.075 mm), halus non plastis atau lanau ($P_L < 4$ atau jika digambarkan pada grafik plastisitas berada di bawah garis A).

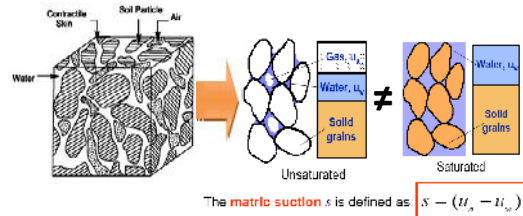
Tanah dengan klasifikasi sebagai butiran halus jika lebih dari 50% lolos saringan No. 200, kelompok ini dibedakan menjadi 2 bagian yaitu lanau dan lempung dengan batas cair 50% serta lanau dan lempung dengan batas cair $> 50\%$. Selanjutnya, masing-masing dibagi dalam 3 kelompok jenis tanah.

E. KONSEP TANAH JENUH SEBAGIAN

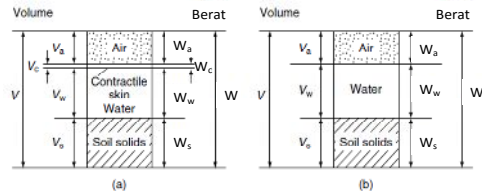
1. Elemen

Tanah jenuh sebagian umumnya mempunyai tiga fase elemen yaitu fase butiran, air dan udara, berbeda dengan tanah jenuh yang hanya mempunyai dua fase (butiran dan air). **Gambar 3** memperlihatkan fase elemen pada tanah jenuh sebagian. Adanya fase air dan udara pada ruang pori tanah jenuh sebagian menimbulkan hadirnya dua jenis tekanan pori yaitu tekanan air pori (u_w) dan tekanan udara pori (u_a) yang mengakibatkan adanya batas (*interface*) antara air dan udara yang dikenal dengan sebutan *contractile skin* (Fredlund dan Morgenstern, 1997). *Contractile skin* merupakan proses dari tegangan permukaan air pada tanah (*surface tension*) yang diumpamakan seperti membran elastis (Kaye dan Laby dalam Fredlund dan Rahardjo, 1993). Adanya *contractile skin* ini, maka interaksi antara butiran, air dan udara menimbulkan perilaku hidro-mekanis yang kompleks pada elemen tanah jenuh sebagian (Rifa'i, 200).

interaksi antara butiran, air dan udara menimbulkan perilaku hidro-mekanis yang kompleks pada elemen tanah jenuh sebagian (Rifa'i, 200)



Gambar 3 Elemen tanah jenuh sebagian (Fredlund dan Rahardjo, 1993).



Gambar 4 Perbedaan fase elemen pada tanah jenuh sebagian (a) *contractile skin* sebagai fase ke-empat pada tanah jenuh sebagian

(b) Penyederhanaan fase tanah jenuh sebagian menjadi *three-phase system* (after Fredlund dan Rahardjo, 1993).

Volume-berat pada butiran tanah, air dan udara merupakan hubungan dasar dalam mekanika tanah seperti pada **Gambar 4**. yang sering digunakan adalah berat volume basah (γ_b), berat volume kering (γ_a), gravitas khusus (spesifik) (G_s), kadar air (w), angka pori (e), porositas (n) dan derajat kejenuhan (S_r) dinyatakan dalam **hubungan** sebagai berikut ini

$$e = \frac{n}{1-n} \dots \dots \dots (5)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots(6)$$

$$\gamma_b = \gamma_d (1+w) \dots\dots\dots(7)$$

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \dots\dots\dots(8)$$

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \dots\dots\dots(9)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e} \dots\dots\dots(10)$$

$$S_r e = w G_s \dots\dots\dots(11)$$

dengan

- e : angka pori,
- n : porositas,
- w : kadar air (persen),
- G_s : gravitas khusus (spesifik),
- S_r : derajat kejenuhan (persen),
- γ_b : berat volume basah (kN/m³),
- γ_d : berat volume kering (kN/m³),
- γ_{sat} : berat volume jenuh (kN/m³),
- γ_w : berat volume air (1 gram/cm³ atau 9.81 kN/m³).

2. Matric Suction

Pada tanah jenuh sebagian dikenal istilah *suction* diperoleh dari dua komponen yaitu *matric suction* (s) dan *osmotic suction* (π). Jumlah kedua komponen tersebut dikenal dengan *total suction* (ψ) (Fredlund dan Rahardjo, 1993). Ketiga komponen tersebut dapat dinyatakan dalam **hubungan15**berikut ini.

$$\psi = (u_a - u_w) + \pi \dots\dots\dots(12)$$

dengan

- ψ : *total suction* (kN/m²),
- $(u_a - u_w)$: *matric suction* (kN/m²),

π : *osmotic suction* (kN/m²).

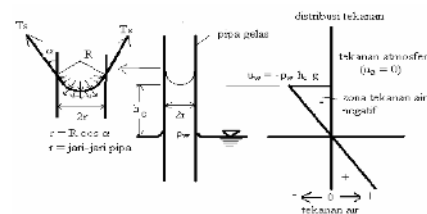
Komponen *matric suction* merupakan tegangan permukaan air yang dianalisis dengan tekanan kapiler (u_c) (Lu dan Likos, 2004). Nilai (u_c) tergantung tegangan permukaan (T_s) dan jejari kurva (R). Analisis tegangan permukaan air dan jejari kurva dapat digambarkan dengan sebuah gelas pipa yang diisi air. Jarak jejari R tergantung padadimensi kapiler pipa dan sudut kontak seperti pada **Gambar5**

Hubungan antara tegangan permukaan dan tekanan kapiler (u_c) dapat dituliskan dalam **hubungan 13** sebagai berikut ini :

$$u_c = (u_a - u_w) = \frac{2T_s \cos \alpha}{r} = h_c \gamma_w \dots\dots\dots(13)$$

dengan

- u_a : tekanan udara pori (kN/m²),
- u_w : tekanan air pori (kN/m²),
- T_s : tegangan permukaan air (kN/m²),
- r : jejari kapiler pipa (m),
- α : sudut kontak (°),
- h_c : tinggi kapiler (m).



Gambar5 Fenomena tegangan permukaan air pada pipa kapiler (Fredlund dan Rahardjo, 1993).

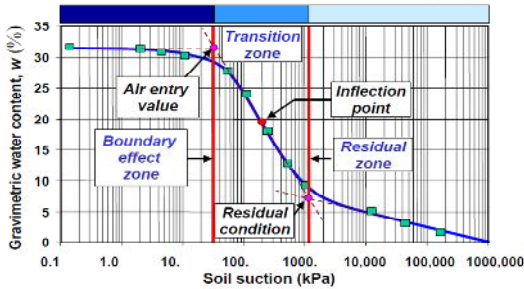
Berdasarkan persamaan di atas, *matric suction* berbanding terbalik dengan jejari kapiler pipa, semakin besar jejari kapiler, maka nilai *matric suction* akan semakin kecil (Fredlund dan Rahardjo, 1993).

3. Soil-Water Characteristic Curve

Soil Water Characteristic Curve (SWCC) merupakan kurva yang menggambarkan hubungan antara jumlah air dalam tanah dan *suction*. Jumlah air

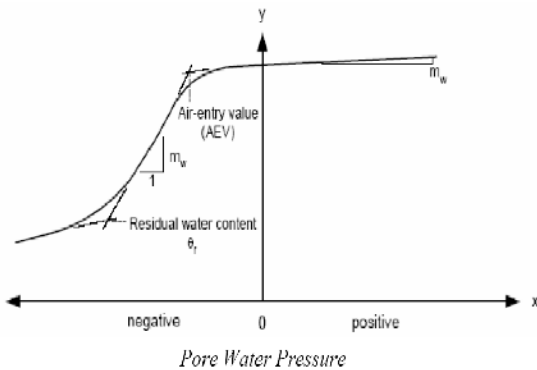
di sini bisa berupa kadar air *Gravimetric Water Content (GWC)(w)*, *Volumetric Water Content (VWC) (θ)* atau derajat kejenuhan (*S*) (Vanapilli, et al, 1996) .*Soil Water Characteristic Curve (SWCC)* juga sering disebut *Soil Water Retention Curve (SWRC)* menggambarkan kemampuan tanah untuk menyimpan dan melepaskan air.

Volumetric water content function menggambarkan sisa volume rongga yang terisi air sebagai aliran tanah, seperti pada **Gambar 6**



Gambar 6. Fungsi *Volumetri water content* (Fredlund, et al., 1996)

Faktor yang mempengaruhi *volumetric water content* adalah ukuran butir tanah dan distribusi ukuran butiran tanahnya seperti pada **Gambar 7**



Gambar 7 Fungsi *volumetric water content* (Krahn, 2004).

Pasir berlanau memiliki distribusi ukuran butir yang lebih menyebar, pori antara pasir diisi oleh partikel lanau, sehingga menyebabkan ukuran pori terbesar lebih kecil dari pasir seragam, akibat tekanan air pori negatif yang lebih besar harus diaplikasikan sebelum terjadinya aliran, hal ini yang meningkatkan air entry value (AEV).

Secara umum nilai *volumetric water content* tergantung pada tiga parameter sebagai berikut ini :

1. Air Entry Value (AEV),
2. kemiringan kurva baik untuk tekanan air pori yang positif maupun tekanan air pori negatif (didefinisikan sebagai m_w),

3. kadar air residual atau jenuh (θ_r atau S_r).

Pada saat *suction* rendah diterapkan pada tanah jenuh, belum ada air yang keluar dari pori-pori. Seiring dengan peningkatan *suction*, pada suatu nilai *suction* tertentu air mulai keluar dari pori-pori tanah. Kondisi ini didefinisikan sebagai *air entry value suction*.(AEV) Bila *suction* ditingkatkan, maka volume air juga akan berkurang hingga mencapai nilai residual.

entry value suction.(AEV) merupakan fungsi dari ukuran maksimum pori tanah dan juga dipengaruhi oleh gradasi ukuran butiran atau *Grain Size Distribution (GSD)* dalam tanah. Tanah dengan ukuran pori besar biasanya memiliki nilai AEV yang relatif rendah.

III. METODE PENELITIAN

A. Pengukuran nilai *matric suction* dengan metode *filter paper*

Pengukuran nilai *matric suction* menggunakan beberapa peralatan diantaranya sebagai berikut:

- a. *Filter paper* (kertas saring) jenis kertas saring bebas debu tipe II yakni Whatman No. 42 seperti pada **Gambar 3.1**,



Gambar 3.1 *Filter paper* (kertas saring) jenis Whatman No.42.

- b *Specimen container* yang mempunyai volume 120-240 ml yang terbuat dari besi/ gelas bebas karat beserta tutup yang rapat (**Gambar 3.2**)



Gambar 3.2 *Specimen container*

c. *Filter paper container* (kotak kertas saring) sebagai tempat kertas saring setelah mencapai suatu keseimbangan berupa *plastic bag* (lihat pada **Gambar 3.3**) dengan tutup sebagai *cold tare*, dapat menampung *filter paper* berdiameter 55 mm dan dapat membungkus dengan rapat (hampa udara).



Gambar 3.3 *Plastic Bag*

d. *Insulated chest* (kotak isolasi) berupa kotak yang mampu menampung dan mengisolasi kotak sampel/spesimen container yang terbuat dari bahan *polystyrene* atau material lain. Kotak isolasi

(**Gambar 3.4**) harus mampu mempertahankan temperatur dalam kotak dengan ketelitian sebesar $\pm 1^\circ\text{C}$



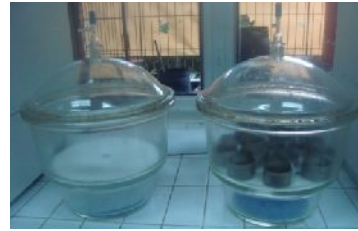
Gambar 3.4 *Insulated chest sample container*

f. Timbangan digital dengan kapasitas 20 gram dengan ketelitian 0.0001 gram (**Gambar 3.5**).



Gambar 3.5 Timbangan digital dengan ketelitian 0.0001 gram.

g. Desikator yang digunakan untuk mendinginkan *filter paper* setelah dikeluarkan dari oven (**Gambar 3.6**).



Gambar 3.6 Desikator.

h. Termometer dengan tingkat akurasi $\pm 1^\circ\text{C}$

i. Oven pengering pada **Gambar 3.7** mampu menjaga keseimbangan temperatur sebesar $110 \pm 5^\circ\text{C}$



Gambar 3.7 Oven pengering

j. Peralatan pendukung seperti: pipa pralon untuk mencetak sample tanah, penjepit *filter paper* dengan panjang sekitar 100 mm, gunting, sarung tangan yang steril, dan isolasi listrik yang elastik.



Gambar 3.8 Peralatan pendukung

B. Tahapan Penelitian

Penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut ini:

1) Tahap studi literatur

Tahap ini bertujuan untuk mempelajari dan memperdalam pengetahuan tentang masalah yang akan

diteliti. Selain itu, dalam tahap ini dilakukan pemahaman dalam penggunaan *SoilVision* untuk analisis data selanjutnya.

2) Tinjauan lapangan dan pengambilan sampel tanah

Peninjauan lapangan bertujuan untuk mengetahui kondisi lapangan serta informasi berkaitan dengan tujuan penelitian. Sampel tanah kemudian diuji untuk mengetahui kepadatan lapangan (data sekunder) yang akan digunakan sebagai dasar uji dilaboratorium selanjutnya.

3) Persiapan sampel bahan dan alat

4) Uji *index properties* tanah, meliputi:

- a. uji berat jenis,
- b. uji distribusi ukuran butiran,
- c. uji batas konsistensi.

5) Pengukuran nilai *matric suction* dengan menggunakan metode *filter paper*.

C. Pengukuran nilai *matric suction* dengan metode *filter paper*

Prosedur pelaksanaan pengukuran nilai *matric suction* dengan metode *filter paper* mengacu pada standar ASTM D 5298-2003. Cara kerjanya sebagai berikut ini :

1) Persiapan *filter paper* (kertas saring)

Kertas saring dimasukan ke dalam oven minimal 16 jam atau semalaman. kertas saring ditempatkan pada kotak plastik dan disimpan pada desikator sampai digunakan.

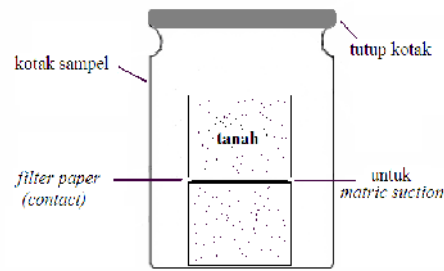
2) Cara pengukuran *matric suction*

Matric suction dapat diukur dengan menempatkan kertas saring kontak langsung dengan tanah (**Gambar 3.1.2**). adanya kontak langsung tersebut, diharapkan terjadi transfer aliran air termasuk transfer garam.

3) Menempatkan kertas saring

Pertama-tama, sampel tanah atau fragmen tanah seberat 200-400 gram ditempatkan pada kotak sampel. Sampel tanah diusahakan secepat mungkin masuk ke dalam kotak sampel untuk mereduksi waktu keseimbangan dan meminimalkan perubahan nilai *matric suction* di dalam tanah.

Hal ini dikarenakan kertas saring bagian tengah akan digunakan sebagai analisis *matric suction*.



Gambar 3.1.2 Penempatan *filter paper* pada kotak sampel

4) Keseimbangan *matric suction*

Keseimbangan *matric suction* dapat dilakukan dengan menutup rapat kotak sampel dan diisolasi dengan isolasi listrik (plastik) yang fleksibel dan lekat. Kemudian, kotak sampel ditempatkan pada kotak isolasi dan diletakkan pada ruangan yang mempunyai variasi temperatur $\pm 3^\circ\text{C}$. Tipikal temperatur secara nominal sekitar 20°C . *Matric suction* dari kertas saring dan sampel tanah pada kotak sampel dibiarkan sampai terjadi keseimbangan temperatur yakni minimal 7 hari.

5) Mengukur berat kotak kertas saring

Pengukuran dapat dilakukan dengan menimbang kotak kertas saring terlebih dahulu dengan pendekatan 0.0001 gram berkode T_c (*cold tare*) sebelum memasukan kertas saring bagian tengah dari 3 lapis tumpukan untuk mengukur *matric suction*.

6) Memindahkan kertas saring

Pemindahan kertas saring dari kotak sampel ke kotak kertas saring menggunakan alat penjepit kertas setelah sebelumnya kotak kertas saring ditimbang sebagai T_c . Proses pemindahan tersebut harus dilakukan dalam waktu 3 sampai 5 detik saja. Mengukur berat kertas saring dan berat kotak kertas saring pengukuran dilakukan dengan menimbang kertas saring beserta kotak kertas saring berkode M_1 (plastik)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

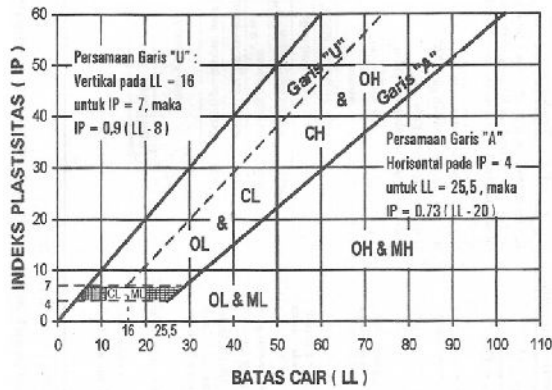
A. Sifat fisik dan klasifikasi

Tanah asli yang digunakan berasal dari tanah dasar jalan tol Semarang- Solo Section II di Km 18 +600, tanah ini yang termasuk dalam katagori tanah berbutir halus. Dari hasil uji laboratorium, diperoleh karakteristik tanah sebagai berikut ini.

1. Kadar air lapangan (w_{lap}) = 50,79%
2. Berat volume basah lapangan (γ_{blap}) = 16.5 kN/m³
3. Berat volume kering lapangan ($\gamma_{d, lap}$) = 12.1 kN/
4. Gravitas khusus (G_s) = 2,62 %

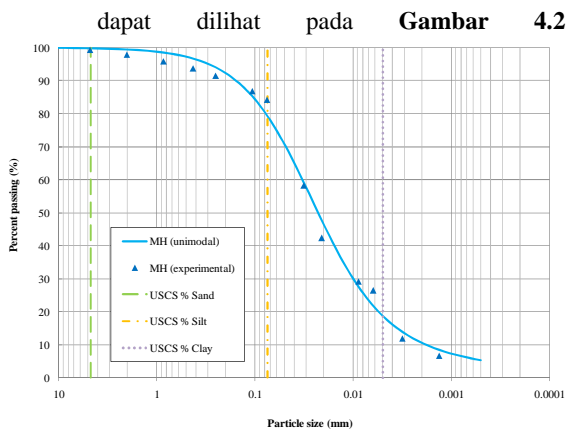
5. Batas cair (L_L) = 75,67%
6. Batas plastis (P_L) = 30,03%
7. Batas susut (S_L) = 17,28%
8. Indeks plastisitas (P_I) = 26,57%
9. Distribusi ukuran butiran
 - a. Pasir = 15,15%
 - b. Gravel = 0,61%
10. Klasifikasi USCS = MH

Uji batas konsistensi (*Atterberg Limits*) menghasilkan nilai batas cair (L_L) sebesar 75,67%, batas plastis (P_L) sebesar 30,03%, dan batas susut (S_L) sebesar 17,28%. Menurut *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah dengan batas cair (L_L) = 75,67% dan indeks plastisitas (P_I) = 26,57% masuk dalam klasifikasi sebagai tanah MH (*clay high plasticity*) atau lempung anorganik dengan plastisitas tinggi seperti terlihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik plastisitas USCS (ASTM D 2487-03)

Berdasarkan **Gambar 4.1**, dapat dilihat bahwa tanah tersebut tergolong tanah MH (*clay high plasticity*). Data *index properties* tanah tersebut selanjutnya dapat dimasukkan pada program SoilVision untuk kurva distribusi ukuran butiran dan SWCC. Distribusi ukuran butiran pada tanah MH .



Gambar 4.2 Kurva Distribusi ukuran butiran *unimodal fit* tanah MH

Pada *fitting* distribusi ukuran butiran digunakan persamaan *Unimodal Fit* yang mewakili data eksperimental dengan nilai *error* (R^2) sebesar 0.9932 (**Tabel 4.1**). Distribusi ukuran dan komposisi material penyusun tanah MH dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. Hasil *fitting* distribusi ukuran butiran ini nantinya akan digunakan untuk memperkirakan kurva SWCC yang menggambarkan hubungan antara *matric suction* dan kadar air maupun derajat kejenuhannya

Tabel 4.1 Parameter *fitting unimodal* pada tanah MH

Parameter <i>fitting</i>	MH
a_{gr} (mm)	0.0338065
n_{gr}	1,173584
m_{gr}	1,828486
h_{rg} (mm)	0.001
<i>Smallest Particle Diameter, d_m</i> (mm)	0.00001
<i>Unimodal Error</i> (R^2)	0.9932

Tabel 4.2 Distribusi butiran tanah MH berdasar *unimodal fit*

USCS (ASTM D 2487)	Unimodal	Ukuran
USCS % Clay	24.37%	< 0.005 mm
USCS % Silt	57.70%	0.005-0.075 mm
USCS % Sand	17.42%	0.075-4.75 mm
USCS % Coarse	0.51%	> 4.75 mm
Total	100.00%	

2. Mengukur Nilai *Matric suction* dengan *Filter Paper* untuk berbagai S_r dan γ

Uji *filter paper* dilakukan untuk mendapatkan nilai *matric suction* suatu tanah dengan membuat variasi kadar air tanah dengan kepadatan kering dianggap konstan. Nilai *matric suction* pada berbagai kadar air atau derajat kejenuhan dapat digambarkan dalam suatu kurva yang dinamakan *Soil Water Characteristic Curve* (SWCC). Dalam penelitian ini, uji *filter paper* dilakukan dalam 5 (lima) variasi kadar air seperti terlihat **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil pengujian *matric suction* dengan metode *filter paper*

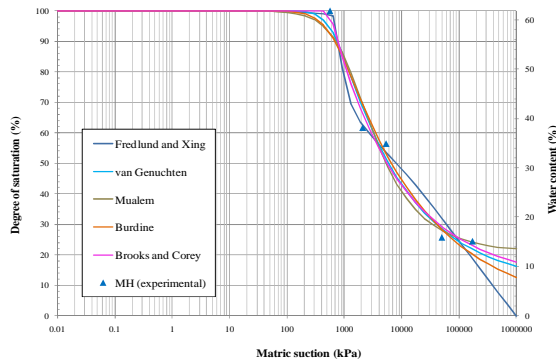
MH (<i>experimental</i>)				
SR (%)	W (%)	GWC	VWC	<i>Matric Suction</i>

24,48	15,14	0,1514	0,15136	560,53
25,76	15,93	0,1533	0,159274	2091,7
56,61	34,94	0,3494	0,35002	5307,62
61,66	38,13	0,3813	0,381244	49911,4
100	61,83	0,6183	0,6183	170141

3. Memprediksi SWCC dengan program SoilVision

Fitting SWCC

Nilai *matric suction* dari pengujian *filter paper* kemudian diolah dengan program SoilVision untuk mendapatkan kurva *Soil Water Characteristic Curve* (SWCC) dengan beberapa metode yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Kurva *fitting* SWCC pada tanah MH dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



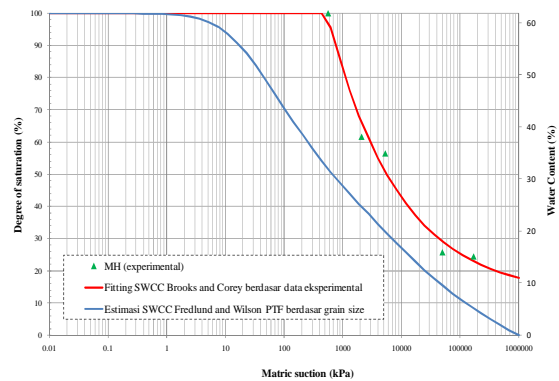
Gambar 4.3 Bentuk *fitting* SWCC berdasarkan data eksperimental

Pada **Gambar 4.3**, hubungan antara *matric suction* dan derajat kejenuhan atau kadar air digambarkan dalam beberapa persamaan, diantaranya Fredlund and Xing, Van Genuchten, Mualem, Burdine dan Brooks and Corey. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa kurva Fredlund and Xing menghasilkan kurva yang paling mendekati atau menyinggung data eksperimental, namun pada bagian ekor kurva kemiringannya lebih tegak. Selain itu, kurva Mualem, Burdine, Van Genuchten dan Brooks and Corey cenderung memiliki kurva yang berimpit satu sama lain dan mendekati data eksperimental, hanya berbeda pada ekor kurva. Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan kurva diantaranya nilai *error* (R^2), nilai AEV dan kemiringan kurva. eksperimental, hanya berbeda pada ekor kurva. Kurva **Brooks and Corey** dipilih sebagai kurva yang dapat mewakili data eksperimental dengan nilai *error* (R^2) terbesarnya 0,9821 ; nilai AEV sebesar 538, 61 kPa dan kemiringan (*slope*) sebesar 0,3586.

B. PEMBAHASAN

1. Pengaruh Kadar Air terhadap nilai *Matric Suction* dengan berbagai Metode analisis

Metode *fitting* dan estimasi kurva *Soil Water Characteristic Curve* (SWCC) pada derajat kejenuhan yang sama, akan menghasilkan nilai *matric suction* yang berbeda seperti terlihat pada **Gambar 4.5**. Dalam estimasi SWCC, peran distribusi ukuran butiran (GSD) sangat penting karena digunakan sebagai parameter dalam menentukan estimasi kurva SWCC. Hal ini berbeda dengan metode *fitting* dikarenakan metode ini menggunakan data eksperimental sebagai parameter utamanya.



Gambar 4.5 Kurva *fitting* dan estimasi SWCC

Dalam penelitian ini, *fitting* SWCC pada tanah MH menggunakan persamaan Brooks and Corey sedangkan untuk estimasi SWCC menggunakan persamaan Fredlund and Wilson PTF. Nilai *matric suction* pada kedua kurva tersebut berbeda karena parameter yang digunakan untuk menentukan nilai

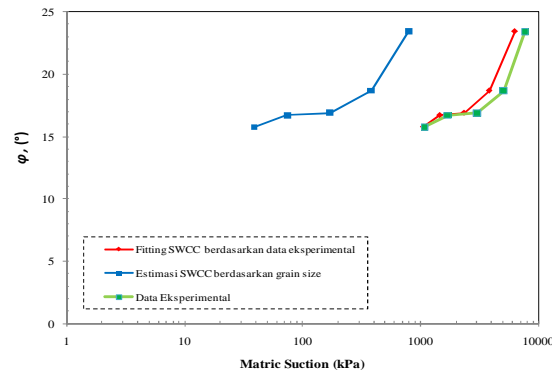
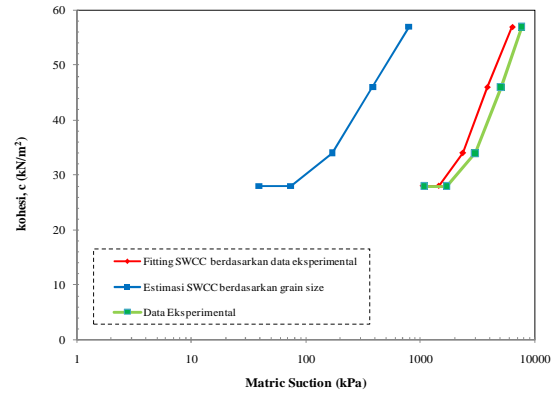
matric suction pada suatu kadar air juga berbeda. Dari **Gambar 4.5**, terlihat bahwa *fitting* SWCC dengan menggunakan persamaan **Brooks and Corey** mendekati data eksperimental dan dapat menggambarkan kurva SWCC dengan baik. Hal ini berbeda dengan estimasi SWCC yang menggunakan persamaan **Fredlund and Wilson PTF** yang menggunakan distribusi ukuran butiran

48.62	6322.68	795.75	7676.22	5.24
55.76	3832.99	381.68	5043.64	4.86
64.55	2339.57	169.77	3007.38	2.43
74.28	1451.55	74.11	1696.75	1.73
81.95	1056.41	38.96	1080.62	1.37

4. Hubungan nilai *matric suction* dengan parameter kuat geser tanah (c dan ϕ)

Tegangan geser tanah merupakan bagian penting dalam perencanaan struktur bangunan geoteknik. Kurva SWCC yang menggambarkan hubungan antara kadar air dan *matric suction*, merupakan alat control dalam memprediksi tegangan geser pada tanah jenuh sebagian. Selain kohesi dan sudut gesek dalam, nilai *matric suction* ($u_a - u_w$) juga berpengaruh pada tegangan geser tanah jenuh sebagian. Pada **Tabel 4.4** dan **4.5** menunjukkan bahwa perilaku kohesi total tanah (c) dan sudut gesek dalam

(ϕ), dipengaruhi oleh perubahan kadar air (w) atau derajat kejenuhan (S). Pada **Gambar 4.6** dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar air maka nilai *matric suction* baik *fitting*, estimasi, dan eksperimental, nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) semakin rendah.



Tabel 4.4 Nilai *matric suction* dan parameter kuat geser tanah MH

Kadar Air	Sr	<i>Matric Suction</i>			c (Ary, 2013)	ϕ (Ary, 2013)
		Fitting	Estimasi	Eksp		
%	%	kPa			kN/m ²	($^{\circ}$)
30.06	48.62	6322.7	795.7	7676.2	57	23.42
34.48	55.76	3832.9	381.6	5043.6	46	18.67
39.91	64.55	2339.5	169.7	3007.4	34	16.89
45.93	74.28	1451.5	74.11	1696.7	28	16.69
50.67	81.95	1056.4	38.96	1080.6	28	15.76

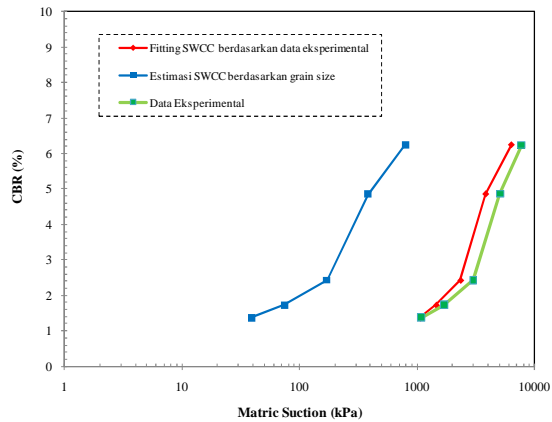
Tabel 4.5 Hubungan *matric suction* dan CBR

(Sr)	$(U_a - U_w)$			CBR (Ary, 2013)
	Fitting	Estimasi	Exp	
%	kPa			%

Gambar 4.6 Hubungan *matric suction* dengan c dan ϕ

5. Hubungan nilai *matric suction* dengan nilai CBR

Dalam perkerasan jalan, nilai CBR digunakan untuk menunjukkan kuat dukung tanah dasar (*subgrade*). Nilai CBR yang diijinkan untuk *subgrade* yaitu 6 (SNI 03-1744-1989). Secara teori, semakin besar kadar air suatu tanah maka semakin kecil nilai CBR-nya. Hal ini secara tidak langsung juga berpengaruh pada nilai *matric suction* suatu tanah. Nilai *matric suction* dihitung pada kadar air yang sama dengan kadar air hasil uji CBR. Nilai *matric suction* diperoleh dengan melakukan interpolasi hasil *fitting* estimasi kurva SWCC dari program SoilVision dan juga interpolasi dari nilai *matric suction* data eksperimental. Hubungan nilai *matric suction* dan CBR dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Hubungan *matric suction* dengan nilai CBR.

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai *matric suction* berbanding lurus dengan nilai CBR tanah MH. Hal ini berarti semakin besar nilai *matric suction* ($u_a - u_w$), maka semakin tinggi nilai CBR-nya. Pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.7** nilai *matric suction* = 6322,68 kPa maka menghasilkan nilai CBR = 6,24 % sedangkan pada saat nilai *matric suction* = 1056,41 kPa, nilai CBR-nya turun sebesar 1,37 %.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

- 1) Klasifikasi tanah asli yang digunakan berasal dari tanah dasar jalan tol Semarang - Solo Section II di Km 18 +600, menurut USCS termasuk jenis tanah MH (lanau anorganik plastisitas tinggi) dengan kadar air lapangan pada tanah *subgrade* 50,7% tidak memenuhi tanah dasar jalan tol.
- 2) *Fitting SWCC* yang cocok digunakan adalah Brooks and Corey sedangkan persamaan Fredlund and Wilson PTF yang digunakan untuk mewakili kurva estimasi SWCC pada tanah MH..
- 3) Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa kadar air yang terkandung dalam tanah akan mempengaruhi nilai *matric suction*, parameter kuat geser tanah maupun nilai CBR-nya. Semakin tinggi kadar air atau derajat kejenuhan suatu tanah maka semakin nilai *matric suction*, parameter kuat geser tanah (kohesi dan sudut gesek dalam) maupun nilai CBR-nya akan semakin turun.

A. SARAN

Selain *drying SWCC*, dapat ditambahkan pengujian *matric suction* untuk mendapatkan *wetting Soil Water Characteristic Curve (SWCC)* sehingga dapat diperoleh kurva *hysteresis*.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada DIKTI atas dukungan dan finansial dari Beasiswa perguruan Tinggi pengirim DIKTI 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2003, "Annual Books of ASTM Standard", ASTM, Easton, MD, USA.
- Fredlund, D. G., dan Xing A., 1994, Equation for the Soil-Water Characteristic Curve, *Canadian Geotechnical Journal*, 31: 533-546.
- Fredlund, M. D., 2006, *SoilVision A Knowledge-Based Soils Database User's Manual*, SoilVision Systems Ltd., Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kusnadi, 2005, *Pengaruh Suction Pada Parameter Kuat geser Tanah lanau jenuh Sebagian*, Tugas Akhir S1, Program Sarjana Ekstensi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Krahn, J., 2004a, *Seepage Modeling with SEEP/W, An Engineering Methodology*, GEO-SLOPE International Ltd, Calgary, Alberta, Canada.
- Lu, N., dan Likos, W J., 2004, *Unsaturated Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- Rifa'i, A., 2002, *Mechanical Testing and Modeling of An Unsaturated Silt, with Engineering Applications*, Ph.D. Desertation, EPFL, Switzerland.
- Sismiani, 2013, *Pengaruh Perubahan Kadar Air Terhadap Sifat Teknis Tanah Lanau Kelempungan Pada Jalan Tol Semarang - Solo Section II*
- Pramusandi, S., 2010., *Penentuan Sifat Teknis Tanah Jenuh Sebagian dan Analisis Informasi Lereng Akibat Pengaruh variasi Air Hujan*, Jogyakarta: Program Studi S2 Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada.