



Korelasi *Air Entry Value* (AEV) Dengan Kuat Geser Tanah Jenuh Sebagian

¹Gayuh Aji Prasetyaningtiyas* ²Kuswaji Dwi Priyono

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

²Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta

¹gayuh.ap@ums.ac.id* ²kdp130@ums.id

Abstract

The characteristics of unsaturated soil seen from the Groundwater Characteristics Curve (SWCC). One of main variables determine the SWCC of soil are Air Entry Value (AEV). The AEV is the initial point of air entering the soil void. SWCC was obtained from the fitting of unsaturated soil model from Soil Vision. Although statistically a fitting model can match the point of laboratory result, the AEV resulted different point from the curve shaped by laboratory points. Therefore, this study aims to understand further the influence of AEV on unsaturated particularly on the change of soil share strength parameters. This studi used field investigation, a series of laboratory and numerical analysis to obtain Fredlund bimodal and Van Genutchen fitting model. Both models, then used to calculate the shear strength parameter (ϕ' , c') change affected by different water content. On the other hand, the AEV consider as the major aspect on the calculation. The result shows that Van Genutchen model demonstrated the higher similarity with the laboratory test shear strength test comparing to Fredlund Bmodal's. for silt sand oil in this study. This study is applicable for back filled and landslide case.

Keywords: AEV, Fredlund Bimodal, SWCC, shear strength, Van Genutchen

Abstrak

Karakteristik tanah jenuh sebagian dapat dilihat dari Soil water characteristic Curve (SWCC). Salah satu elemen penting yang dapat menentukan SWCC tanah yaitu *Air Entry Value* (AEV). Nilai AEV merupakan titik awal udara masuk ke pori tanah. Nilai SWCC didapat dari *fitting* model tanah jenuh sebagian dari Soil Vision. Meskipun sebuah model *fitting* bisa mendekati titik uji namun nilai AEV yang dihasilkan terkadang berbeda dari kurva imajiner yang terbentuk oleh titik hasil uji laboratorium. Oleh karena itu studi ini mencoba untuk memahami pengaruh AEV dalam perilaku tanah jenuh sebagian, khususnya dalam perubahan parameter kuat geser tanah. Studi ini menggunakan metode investigasi lapangan dan uji laboratorium serta analisis numeris untuk mendapatkan *fitting* Fredlund Bimodal dan Van Genutchen. Kedua model tersebut kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai perubahan nilai kuat geser dengan menggunakan persamaan Bishop. Hasil dari pendekatan kemudian divalidasi dengan hasil uji laboratorium. Hasil studi menunjukkan bahwa model Van Genutchen lebih tepat digunakan sebagai pendekatan perubahan parameter kuat geser. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai AEV yang lebih kecil dengan nilai AEV hasil *fitting* Fredlund Bimodal untuk tipe tanah lanau kepasiran. Studi ini aplikatif untuk kasus tanah jenuh sebagian akibat perubahan kadar air, seperti timbunan dan bencana longsor.

Kata kunci : AEV, Fredlund Bimodal, kuat geser, SWCC, kuat geser, Van Genutchen.

1. Pendahuluan

Tanah jenuh sebagian merupakan kondisi tanah dengan kejenuhan <100%, sehingga memungkinkan terjadinya gaya kapilaritas. Kondisi tersebut berpengaruh pada perubahan

kadar air tanah, terutama jika terjadi infiltrasi di dalam tanah. Proses perubahan kadar air tersebut memberikan kontribusi dalam perubahan parameter tanah. Perubahan kadar air tersebut digambarkan dalam Soil Water

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

Characteristic Curve (SWCC). Dalam SWCC tergambar kondisi dari tanah jenuh hingga sangat kering. Titik pertama dari jenuh total menuju jenuh sebagian merupakan titik *Air Entry Value*. Bisa juga diartikan sebagai sebuah kondisi awal ketika tanah tidak sepenuhnya terisi air sehingga ada celah yang bisa terisi udara. Di titik ini lah tanah mulai memiliki tegangan hisap terhadap air (*suction*). Kondisi sebaliknya adalah kondisi residu, yaitu kondisi peralihan dari kering total menuju jenuh sebagian.

Dari penjelasan diatas, kedua kondisi peralihan sangat penting bagi tanah jenuh sebagian. Khususnya pada *Air Entry Value* (AEV), mengingat pengaruh infiltrasi hujan terhadap bahaya longsor. Dimana kondisi tersebut biasanya ditentukan dari AEV yaitu kondisi kering menuju jenuh, akibat infiltrasi hujan. Oleh karena itu, sampel pada studi ini diambil dari lokasi rawan longsor yang rentan terhadap penurunan kuat geser tanah akibat infiltrasi air hujan.

Model *fitting* dalam menentukan SWCC menghasilkan AEV dan kemiringan kurva yang berbeda. Biasanya penentuan model *fitting* yang tepat dilihat dari ketepatan titik prediksi dengan hasil uji *suction* tanah. Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan uji beberapa *fitting* untuk menentukan model mana yang cocok untuk beberapa jenis tanah. Cao dkk. [1] melakukan studi untuk mengetahui kecocokan *fitting* Van Genutchen untuk tanah pasir dengan tingkat keseragaman gradasi rendah. Hasil studi menunjukkan bahwa untuk gradasi butiran

0.04 mm hingga 0.7 mm kondisi AEV turun jika menggunakan *fitting* Van Genutchen. Studi lain oleh Zhou dkk. [2] menyatakan bahwa model ini dapat digunakan untuk gradasi tanah kerikil sampai dengan tanah lanau, untuk metode *drying cycle*. Burger dan Shackelford [3] melakukan uji menggunakan *filter paper* dan melaporkan bahwa model Fredlund Bimodal telah sesuai fungsinya pada tipe tanah granular untuk menunjukkan porositas ganda pada suatu tanah yang memiliki campuran tanah yang lain. Namun, studi tersebut terbatas pada ketepatan titik uji dengan kurva SWCC, sedangkan pengaruh AEV kurang dibicarakan. Di sisi lain, Nilai AEV yang dihasilkan juga merupakan aspek fundamental dalam *fitting* SWCC. Fondjo dkk. [4] melaporkan bahwa tanah dengan AEV 0-20 kPa dapat menghasilkan SWCC yang terbaik. Nilai AEV tersebut berkaitan dengan kandungan mineral dalam tanah.

Secara tidak langsung, AEV dapat memberi pengaruh kepada perubahan parameter tanah. Oleh karena itu penting mengetahui pengaruh perbedaan AEV pada tiap model *fitting* yang digunakan. Namun masih jarang studi yang menggunakan validasi dengan data lapangan sesuai kadar air asli lapangan, mengingat hal tersebut membutuhkan waktu yang lama karena harus menunggu pergantian musim di daerah pengambilan sampel. Validasi sesuai hasil sampel lapangan diperlukan agar validasi lebih aktual. Seperti diketahui apabila validasi menggunakan variasi kadar air yang dikondisikan pada laboratorium, hasilnya bisa tidak cukup mewakili hasil lapangan. Hal tersebut disebabkan perbedaan suhu, kondisi

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

dan distribusi aliran air yang pasti berbeda antara pembasahan akibat hujan alami dan pembasahan buatan di laboratorium.

Dalam penelitian ini dilakukan uji pada dua model *fitting* SWCC berdasarkan nilai *AEV* yang dihasilkan, yaitu model Fredlund Bimodal dan Van Genutchen. Hal ini bertujuan untuk mengetahui model mana yang paling bisa dipakai untuk mendekati perubahan parameter kuat geser. Dalam studi ini dilakukan investigasi lapangan, pengujian laboratorium dan pemodelan numeris menggunakan aplikasi Soil Vision untuk mendapatkan SWCC tanah.

2. Metode Penelitian

2.1. Dasar Teori *Fitting* dan Perubahan Parameter Kuat Geser (c' dan ϕ')

Air Entry Value (AEV) merupakan titik minimal *matric suction* yang dibutuhkan agar udara dapat masuk ke dalam pori-pori tanah [4]. *AEV* merupakan titik yang harus selalu ada dan dapat ditemukan pada SWCC. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, studi ini menggunakan dua *fitting* SWCC yaitu *fitting* Fredlund Bimodal [5] (Persamaan 1) dan *fitting* Van Genutchen [6] (Persamaan 2). Dimana w_w adalah kadar air gravimetrik (%), w_{rv} adalah kadar air residual (%), w_{rb} adalah kadar air saat kondisi jenuh, a_{vg} adalah parameter *Air Entry Value*, ψ adalah *suction* (kPa), n_{vg} fungsi yang ditetapkan setelah *AEV* terlampaui, m_{vg} adalah parameter *fitting*. Semua parameter telah ditetapkan oleh aplikasi Soil Vision kecuali kadar air, didapatkan dari uji laboratorium. Sedangkan *fitting* Fredlund Bimodal direpresentasikan oleh Persamaan 2 dimana w adalah kadar air gravimetrik (%), ψ

suction (kPa), a_{fb} adalah parameter *fitting*, n_b adalah parameter *fitting*, m_b adalah parameter *fitting*, j_{fb} adalah parameter *fitting*, k_{fb} adalah parameter *fitting*, l_{fb} adalah parameter *fitting*. Seluruh parameter ditentukan oleh Soil Vision sedangkan kadar air dan *suction* atau tegangan hisap air yang didapat dari uji laboratorium.

Selanjutnya, Studi ini menggunakan persamaan kuat geser yang ditetapkan oleh Bishop [7] pada Persamaan 3. Dimana τ_{ff} adalah kuat geser tanah pada kondisi kritis tanah (kg.cm^{-2}), c' adalah kohesi efektif (kg.cm^{-2}), $(\sigma_f + u_a)_f$ adalah tegangan normal akibat adanya *suction* pada kegagalan tanah, \mathcal{X} merupakan parameter yang berkaitan dengan tegangan hisap air pada tanah (*suction*) dan kejenuhan tanah (S_r). Nilai \mathcal{X} didapat sesuai dengan nilai derajat kejenuhan, S_r (%). Nilai derajat kejenuhan didapat dengan menggunakan Persamaan 5, dimana θ merupakan kadar air volumetrik (m^3/m^3), n merupakan porositas tanah. $(u_a - u_w)_f$ adalah nilai tegangan hisap air (*suction*) pada tanah kondisi kegagalan tanah, ϕ' adalah sudut geser internal efektif ($^\circ$), ϕ_b adalah sudut geser yang terpengaruh *suction*, didapatkan dengan Persamaan 5. Kadar air volumetrik (θ) dihitung dengan Persamaan 6, dimana w adalah kadar air gravimetrik (%), γ_b berat jenis tanah (g.cm^{-3}) dan γ_w adalah berat jenis air (1 gr.cm^{-3}).

Zhao [8] Meneiliti lebih jauh mengenai perilaku tanah yang difitting dengan menggunakan *fitting* Fredlund Bimodal, hasilnya menunjukkan bahwa *fitting* Fredlund Bimodal cocok diterapkan pada tanah granular. Lebih lanjut

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

Cao dkk.[1] juga melaporkan bahwa *fitting* Van Genuchten juga tepat digunakan pada tanah granular. Ketepatan yang dimaksud adalah dalam hal memperdiksi nilai kekuatan tanah dalam beberapa kondisi kadar air yang berbeda. Dimana nilai grafik *fitting* bisa mendekati titik uji laboratorium. Namun begitu, menurut Dias [9] *AEV* memegang peranan penting dalam perhitungan kuat geser tanah akibat perubahan *suction*. Oleh karena itu, selain ketepatan tipe *fitting* pada titik hasil uji laboratorium, nilai *AEV* juga perlu dipertimbangkan dalam penentuan ketepatan *fitting* pada jenis tanah tertentu untuk memperdiksi kuat geser tanah pada kondisi kadar air yang tidak teruji oleh laboratorium kuat geser tanahnya.

$$w = w_s \left\{ s \left[\frac{1}{\ln \left(\exp(1) + \left(\frac{a_{fb}}{\psi} \right)^{n_b} \right)^{m_b}} \right] + (1 - s) \left[\frac{1}{\ln \left(\exp(1) + \left(\frac{j_{fb}}{\psi} \right)^{k_{fb}} \right)^{l_{fb}}} \right] \right\} \quad (1)$$

$$w_w = w_{rvg} + (w_s - w_{rvg}) \left[\frac{1}{1 + (a_{vg}\psi)^{n_{vg}}} \right] \quad (2)$$

$$\tau_{ff} = c' + \{(\sigma_f + u_a)_f + X(u_a - u_w)_f\} \tan \varphi' \quad (3)$$

$$S_r = \theta / n \times 100\% \quad (4)$$

$$X = \tan \varphi^b / \tan \varphi' \quad (5)$$

$$\theta = w \times (\gamma_b / \gamma_w) \quad (6)$$

2.3. Metode Pengujian

Uji dimulai dengan melakukan pengambilan benda uji menggunakan bor tangan pada lokasi rawan longsor di Kecamatan Karangkoobar, Kabupaten Banjarnegara, Jawa tengah (Gambar 1). Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa lokasi pengambilan sampel memiliki

elevasi yang cukup tinggi yang secara geometris rawan terhadap longsor. Sampel tanah terjaga di dalam tabung bor besi, kemudian dilindungi dengan cara dibungkus dengan plastik tebal dan ditutup rapat kemudian disimpan di dalam box kayu. Hal ini dilakukan untuk menjaga kadar air asli dan kepadatan tanah lapangan. Sampel ini disebut sampel tak terganggu. Untuk sampel terganggu, tanah dimasukkan dalam karung plastik, kemudian dibungkus lagi dengan karung tebal untuk mencegah perubahan kadar air selama perjalanan menuju laboratorium.

Setelah itu, sampel tanah tersebut diuji di laboratorium. Pengujian laboratorium meliputi uji *properties* tanah, uji tegangan hisap air terhadap tanah (*suction*) dan uji sifat mekanis tanah (uji kuat geser tanah). Uji *suction* dilakukan menggunakan metode *drying cycle*, yaitu dengan cara pengeringan tanah, dalam studi ini tanah dikeringkan secara alami. Awalnya, sampel tanah dipadatkan dengan kepadatan lapangan, setelah itu tanah dilubangi dengan diameter 20cm agar dapat ditanam irrometer (Gambar 2a) Selanjutnya sampel tanah diletakkan di area yang mendapatkan akses langsung matahari. Pada saat yang sama dilakukan pula pengujian kadar kejenuhan air, dengan menanamkan *probe* pada sampel tanah yang sama namun pada lubang yang berbeda. Dengan menggunakan uji tersebut nilai kejenuhan air dan *suction* pada beberapa variasi kadar air dimonitor dengan *datalogger* (Gambar 2b) akibat evaporasi tanah. Selanjutnya, hasil uji tersebut bisa dimasukkan kedalam SOIL VISION untuk dapat

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

dicari karakteristik tanah sampel melalui SWCC. Dua model *fitting* yang digunakan yaitu model Van Genuchten dan Fredlund Bimodal.

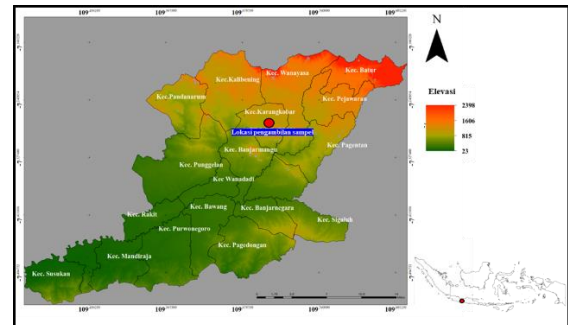
Di sisi lain, disiapkan sampel lain untuk dilakukan uji *properties* tanah dan uji kuat geser tanah. Uji tersebut dilakukan pada beberapa kondisi kadar air pada bulan yang berbeda untuk mendapatkan nilai kadar air yang sesuai dengan lapangan tanpa perlakuan buatan, misalnya pembasahan di laboratorium.

Tahap selanjutnya yaitu, melakukan pendekatan hasil uji *suction* pada beberapa variasi kadar air untuk mencari nilai parameter kuat geser. Pendekatan dilakukan dengan metode Bishop [7]. Dengan metode tersebut nilai parameter kuat geser, kohesi efektif dan sudut geser efektif (c' dan ϕ') dapat diprediksi sesuai dengan perubahan kadar air. Perubahan kadar air yang dipakai mengacu pada karakteristik tanah yang dimodelkan dalam *fitting* SWCC dengan metode Fredlund Bimodal dan Van Genuchten. Selanjutnya hasil prediksi parameter kuat geser pada setiap variasi kadar air dicocokkan dengan parameter kuat geser tanah asli benda uji dari lapangan.

Untuk mendapatkan nilai parameter kuat geser tanah asli lapangan pada beberapa kadar air, maka dilakukan uji kuat geser pada sampel yang diambil pada dua bulan yang berbeda yaitu bulan Oktober dan bulan Juli. Satu data ditambahkan yaitu data sekunder yang merupakan laporan uji tanah bulan Februari 2015 oleh laboratorium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro [10].

Setelah melakukan validasi antara hasil prediksi parameter kuat geser tanah menggunakan pendekatan Bishop [11] pada

dua model Fredlund Bimodal dan Van Genuchten dengan hasil uji laboratorium, selanjutnya dilihat model mana yang lebih mendekati parameter kuat geser tanah yang sesungguhnya.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel tanah



Gambar 2. (a) Irrrometer pengukur suction (b) datalogger perekam data suction dan data kejenuhan tanah

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan uji laboratorium didapatkan hasil *properties* tanah seperti pada Tabel 1. Dari data tersebut didapatkan bahwa Pada bulan Februari tanah memiliki kadar air tertinggi sekitar 80.97% dengan rata-rata hujan harian sebesar 50mm/hari pada hari hujan [12]. Dengan durasi hujan >9jam. Di sisi lain pada bulan Oktober nilai kadar air tanah menurun dengan menurunnya kadar intensitas hujan rata-rata [12]. Dengan durasi hujan >9jam, sedangkan untuk bulan Juli merupakan peralihan dari musim panas ke musim hujan dengan kadar hujan 19mm/hari [12] dengan durasi hujan <5jam.

Informasi Artikel

Untuk mendapatkan nilai prediksi parameter tanah pada masing-masing perubahan kadar air tanah, disediakan sampel tanah yang direndam untuk mendapatkan kadar air yang tinggi. Dalam studi ini nilai sampel tersebut dijadikan kondisi awal (*initial condition*). Dengan menggunakan kadar air tinggi (95%) sebagai nilai *initial condition*, maka peningkatan parameter kuat geser tanah dapat dihitung seiring dengan meningkatnya nilai *suction* dan penurunan kadar air tanah.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian *suction* pada kadar air yang berbeda pada sampel tanah lapangan yang diambil pada bulan yang berbeda. Berdasarkan hasil *fitting* SWCC (Gambar 3), *fitting* Fredlund Bimodal sangat mendekati hasil uji *suction* sampel tanah dari lapangan. Bahkan garis *fitting* Fredlund Bimodal bertumpuk dengan mayoritas hasil uji *suction* ($u_a - u_w$) dan kadar air volumetrik (θ). Di sisi lain *fitting* Van Genutchen menunjukkan kecocokan yang lebih kecil antara titik uji dan *fitting*. Grafik lebih landai dibanding *fitting* Fredlund Bimodal.

Fitting Fredlund Bimodal menghasilkan nilai AEV sebesar 40kPa sedangkan *fitting* Van Genutchen menghasilkan nilai *Air Entry Value* (AEV) sebesar 8kPa. Untuk nilai kadar air volumetrik, Fredlund Bimodal menghasilkan nilai maksimum $\pm 0.44\text{m}^3/\text{m}^3$, sedangkan untuk Van Genutchen nilai kadar air volumetrik yang dihasilkan adalah $\pm 0.52\text{m}^3/\text{m}^3$. Dari kedua nilai tersebut, Van Genutchen menghasilkan nilai $\phi_b = 13.5^\circ$ lebih besar dibandingkan *fitting* Fredlund, $\phi_b = 11^\circ$. Parameter yang dihasilkan

dari *fitting* SWCC tersebut selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai prediksi parameter kuat geser tanah (ϕ' dan c'). Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara hasil prediksi parameter kuat geser *fitting* Fredlund Bimodal, Van Genutchen dan hasil pengujian laboratorium. Dapat dilihat pada Gambar 4 secara umum Hasil *fitting* Van Genutchen memiliki tingkat kemiripan yang jauh lebih tinggi dengan hasil pengujian dibanding hasil prediksi menggunakan *fitting* Fredlund Bimodal.

Untuk bulan Februari, nilai kadar air mencapai 80.97% (Tabel 1). Artinya, kadar air pada bulan Februari mengalami penurunan dibanding *initial condition* yang mencapai 95%, sehingga seharusnya nilai *suction* hasil *fitting* berpengaruh pada perhitungan prediksi tersebut. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa *fitting* Van Genutchen menghasilkan nilai sudut geser (ϕ') yang hampir sama persis dengan hasil pengujian yaitu pada nilai 15° . Di sisi lain, nilai *fitting* Fredlund Bimodal menghasilkan sudut geser 13° dengan perbedaan sekitar 2° atau 7.5%. Untuk bulan Oktober perbedaan *fitting* Fredlund dengan nilai uji laboratorium semakin besar, mencapai 5° atau sekitar 19%. Sedangkan selisih antara uji laboratorium dengan Van Genutchen, mencapai 1° atau sekitar 3.8%. Untuk bulan Juli, *fitting* Van Genutchen menghasilkan nilai prediksi parameter kuat geser yang hampir sama persis dengan hasil uji laboratorium, sedangkan *fitting* Fredlund Bimodal menghasilkan perbedaan sekitar 4.5° atau sekitar 16.6%.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

Untuk nilai kohesi efektif (c'), nilai prediksi Van Genuchten memiliki perbedaan yang tidak signifikan dengan hasil uji laboratorium, bahkan hampir sama dengan hasil uji laboratorium (Gambar 5). Di sisi lain, nilai prediksi dari *fitting* Fredlund Bimodal memiliki selisih tertinggi dengan hasil uji laboratorium sebesar 7kPa atau hampir 6 kali lipat dari hasil uji laboratorium pada bulan Oktober. Sedangkan untuk nilai selisih terendah yaitu 3.6 kPa kali lebih tinggi dari hasil uji laboratorium. Hal ini terjadi disebabkan oleh nilai *AEV* yang tinggi pada *fitting* Fredlund Bimodal.

Perbedaan tersebut disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, hasil *fitting* Van Genuchten, menghasilkan *range* kadar air volumetrik yang lebih besar dibandingkan dengan *fitting* Fredlund dan grafik kemiringan yang lebih landai sehingga nilai *Air Entry Value (AEV)* yang dihasilkan pun lebih besar. Dengan *AEV* dan kadar air volumetrik maksimal yang lebih besar, maka nilai ϕ_b yang dihasilkan pun lebih besar dibandingkan *fitting* Fredlund Bimodal. Dengan begitu, nilai prediksi ϕ' yang dihasilkan pun lebih tinggi dan lebih mendekati nilai uji laboratorium dibanding prediksi parameter kuat geser oleh hasil *fitting* Fredlund Bimodal.

Selain itu nilai kadar air pada initial condition idealnya >100% agar *range* kadar air volumetrik dari jenuh menuju kering lebih panjang sehingga pada jarak kadar air yang tidak terlalu besar misalnya antara Oktober dan Juli, nilai perbedaan sudut geser seharusnya tidak besar.

Untuk nilai kohesi, nilai prediksi Van Genuchten memiliki perbedaan yang tidak signifikan dengan hasil uji laboratorium, bahkan hampir sama nilai yang didapat dari prediksi dengan

hasil uji laboratorium (Gambar 5). Di sisi lain, nilai prediksi dari *fitting* Fredlund Bimodal memiliki selisih tertinggi dengan hasil uji laboratorium sebesar 7 kg.cm⁻² atau hampir 6 kali lipat dari hasil uji laboratorium pada bulan Oktober. Sedangkan untuk nilai selisih terendah yaitu 3.6 kg.cm⁻² kali lebih tinggi dari hasil uji laboratorium. Hal ini disebabkan oleh nilai *AEV* yang tinggi pada *fitting* Fredlund Bimodal. Nilai *AEV* memberi pengaruh yang signifikan pada perhitungan ϕ_b karena nilai X yang dipakai adalah kejenuhan pada kondisi *AEV*.

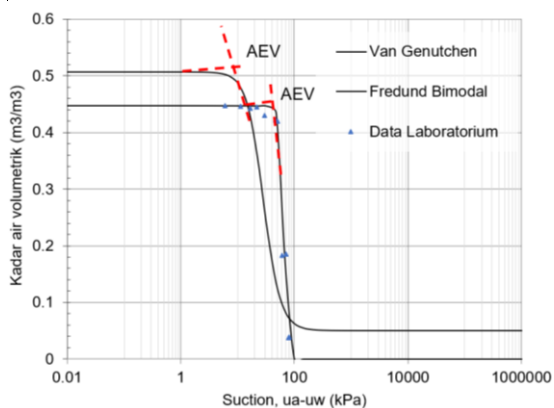
Tabel 1. Properties tanah dari data sekunder untuk bulan Februari dan primer untuk bulan Oktober, Juli dan initial condition.

Propertie s	Bulan, Intensitas hujan			Initia l con ditio n	Sat uan	Standar uji
	Feb	Ok.	Juli			
G_s	50 mm /h	30 mm /h	19 mm /h	-	-	[14]ASTM D54, 02
n	0.6 5	0.7 4	-	-	-	[14] ASTMD54 , 02
e	1.9 3	2.3 5	-	-	-	ASTMD54 , 02
w	80. 9	46	40	95	(%)	[15](AST M D2216, 2016)
γ_b	1.5 9	1.4 9	-	1.6	(g.c m ⁻³)	[16] (ASTM D698, 2003)
γ_d	0.8 835	0.7 4	-	0.83	(g.c m ⁻³)	[16](AST M D698, 2003)
c'	0.1 2	0.1 5	0.1	0.01	(kg. cm ⁻²)	[17](AST M D3080,20 12)

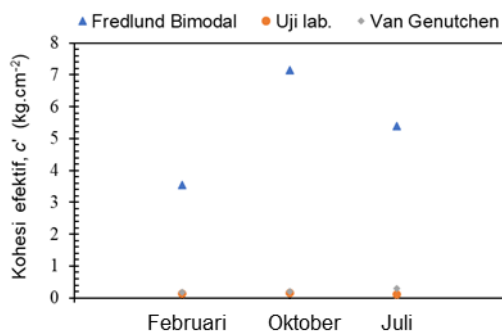
Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

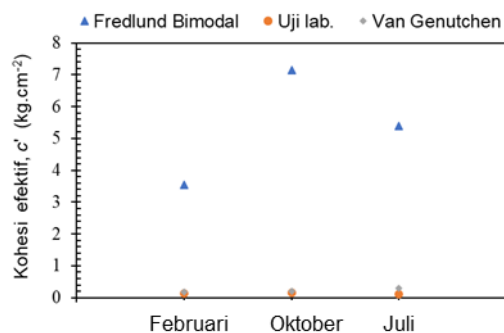
ϕ' 15 26 27 14 ° [17]
 (ASTMD3
 080,2012)



Gambar 3. Grafik Soil Water Characteristic Curve (SWCC) dengan fitting Van Genuchten dan Fredlund Bimodal



Gambar 4. Nilai sudut geser internal (ϕ') hasil perhitungan fitting Van Genuchten, Fredlund Bimodal dan hasil uji laboratorium



Gambar 5. Nilai kohesi (c') hasil perhitungan fitting Van Genuchten, Fredlund Bimodal dan hasil uji laboratorium

Lebih jauh, AEV juga berpengaruh pada nilai c' pada Persamaan 3. Detailnya, dengan nilai AEV yang mencapai 30kPa, otomatis nilai prediksi untuk kadar air $<0.4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ akan menghasilkan suction yang lebih tinggi. Akibatnya, kohesi efektif (c') yang dihasilkan pada Persamaan 3 pun akan menjadi sangat besar.

Menurut Li, Li [13] model Fredlund Bimodal cocok untuk jenis tanah yang dipadatkan dalam kondisi kering secara optimum, mengingat suction yang dihasilkan tinggi. Sedangkan pada penelitian ini sampel tanah yang diambil dari lapangan hanya dipadatkan oleh alam, bukan pemadatan buatan yang diusahakan mencapai nilai optimum.

4. Kesimpulan

Dalam Setelah dilakukan investigasi lapangan, serangkaian uji laboratorium dan analisis, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Dalam penentuan ketepatan model fitting untuk prediksi parameter kuat geser, validasi perlu dilakukan untuk menguji ketepatan prediksi menggunakan hasil uji laboratorium. Hal tersebut disebabkan ketepatan grafik SWCC dengan titik suction hasil uji laboratorium tidak cukup menjadi parameter dalam penentuan prediksi parameter kuat geser tanah (c' dan ϕ').
2. Selain ketepatan grafik SWCC dengan titik hasil uji laboratorium, nilai Air Entry Value (AEV) memegang peranan penting dalam penentuan nilai prediksi parameter kuat geser

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

tanah menggunakan hasil *fitting* SWCC yang selanjutnya didekati dengan persamaan Bishop. Hal ini disebabkan selain *AEV* merupakan nilai awal suction dari kondisi jenuh sepenuhnya menuju jenuh sebagian, nilai *AEV* juga berpengaruh dalam penentuan nilai ϕ_b . Nilai ϕ_b memberi pengaruh yang signifikan dalam perhitungan prediksi ϕ' sedangkan nilai suction pada *AEV* memberi pengaruh besar pada perhitungan nilai c' .

3. Nilai kadar air awal pada *initial condition* menentukan *range* pada prediksi kuat geser tanah. Maksudnya, apabila kadar air awal setidaknya >100%, tanah dalam kondisi jenuh sempurna. Efeknya, peningkatan kuat geser tanah akibat penurunan kadar air dan peningkatan *suction* dapat dihitung dengan lebih teliti dengan selisih lebih kecil. Akibatnya apabila ada dua sampel yang memiliki kadar air dengan selisih yang kecil, maka selisih prediksi parameter kuat gesek pun akan lebih kecil sehingga kedua selisih tersebut tampak selaras. Hal tersebut tidak terjadi pada *fitting* Fredlund Bimodal dalam studi ini, dimana kadar air awal <100% sehingga antara bulan oktober dan Juli yang memiliki selisih kadar air tidak terlalu jauh dapat menghasilkan selisih c' yang besar akibat *range* kadar air yang tidak besar.

Ucapan Terimakasih

Penulis berterimakasih kepada segala pihak yang telah membantu penelitian ini, terutama Pihak Lembaga Riset Internal Universitas Muhammadiyah Surakarta, atas pendanaan penelitian melalui hibah internal 2022.

Daftar Rujukan

- [1] Cao, J., Jung, J., Song, X., & Bate, B. 2018. On The Soil Water Characteristic Curves Of Poorly Graded Granular Materials In Aqueous Polymer Solutions. *Acta Geotechnica*, 13(1), 103-116.
- [2] Zhou, Z.-q., Ranjith, P. G., & Li, S.-c. 2016. Optimal Model For Particle Size Distribution Of Granular Soil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 169(1), 73-82.
- [3] Burger, C. A., & Shackelford, C. D. 2001. Evaluating dual porosity of pelletized diatomaceous earth using bimodal soil-water characteristic curve functions. *Canadian geotechnical journal*, 38(1), 53-66.
- [4] Fondjo, A. A., Theron, E., & Ray, R. P. 2021. Investigation of the Influencing Soil Parameters on the Air Entry Values in Soil-Water Characteristic Curve of Compacted Heaving Soils. *Architecture*, 9(1), 91-114.
- [5] Fredlund, M. D. 2000. The Role Of Unsaturated Soil Property Functions In The Practice Of Unsaturated Soil Mechanics. *Thesis of PhD Degree*. Saskatchewan: University of Saskatchewan.
- [6] Van Genuchten, M. T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892-898.
- [7] Bishop, A. W. 1966. The strength of soils as engineering materials. *Géotechnique*, 16(2), 91-130.
- [8] Zhao, H., Zhang, L. M., & Fredlund, D. 2013. Bimodal shear-strength behavior of unsaturated coarse-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(12), 2070-2081.
- [9] Dias, A. S. R. A. 2019. The effect of vegetation on slope stability of shallow pyroclastic soil covers. *Université Montpellier: Università degli studi di Napoli Federico II*
- [10] Laboratory, U.D.S. 2015. Laporan Penyelidikan Tanah Pada Penanganan Longsoran Banjarnegara-Wanayasa. Universitas Diponegoro: Semarang.
- [11] Bishop, A. W., & Blight, G. 1963. Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils. *Géotechnique*, 13(3), 177-197.
- [12] NASA. 2022. Earth Data (Data hujan TRMM). Update terakhir:2021. Tersedia

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-2022

- di: giovanni.gsfc.nasa.gov. [diakses: 23 September 2022, pukul 13.00 WIB].
- [13] Li, X., Li, J. H., & Zhang, L. M. 2014. Predicting Bimodal Soil–Water Characteristic Curves And Permeability Functions Using Physically Based Parameters. *Computers and Geotechnics*, 57, 85-96.
- [14] ASTM. 2002. Standard Test Method For Specific Gravity Of Soil Solids by Water Picnometer, (ASTM D 854 – 02). In. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- [15] ASTM. 2016. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, (ASTMD D2216). In. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- [16] ASTM. 2003. Standard practice for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)) ASTM D 854 – 02. In. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- [17] ASTM. 1998. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil under Consolidated Drained Conditions, (ASTM D3080). In. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials (ASTM).

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 06-10-2022 | Selesai Revisi : 28-10-2022 | Diterbitkan Online : 30-10-202