

PENGARUH STABILISASI ABU DAUN BAMBU DAN SEMEN TERHADAP KEMBANG SUSUT (*SWELLING*) TANAH LEMPUNG EKSPANSIF

William Wijaya

Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jln Babarsari 43 Yogyakarta

E-mail: william.wijaya@uajy.ac.id

Abstract: Soft clay is a soil type mostly found in Indonesia. This type of soil requires treatment because of its poor properties. These properties have a relatively low bearing capacity in water saturated conditions, high swelling potential, and high plasticity. There are several methods to improve clay soil, including soil stabilization. Soil stabilization is a method of mixing pozzolanic materials such as cement and bamboo leaf ash with the natural soil. The purpose of this addition is to reduce the characteristics of expansive clay such as high swelling potential. The research focused on the results of swelling testing using an oedometer test and was carried out using 6 sample variants using cement with a percentage of 12% of the dry mass of soil and bamboo leaf ash with a percentage of 0%, 25%, 50%, 75%, 100% of the total weight of cement used. Preliminary research is carried out before the core research. The research included examining the original soil parameters, mineral content, and pozzolanic content of bamboo leaf ash. The results of the preliminary research showed that the natural soil is classified as a high plasticity (CH) clay group and had a high potential for swelling and shrinkage. Whereas in the pozzolanic material test, bamboo leaf ash contained a chemical compound of SiO_2 as much as 79.68%. Based on the results, cement and bamboo leaf ash as stabilization agents succeeded in reducing the swelling value of the soil from 15.71% to 4.33% in the S100ADB0 and 6.07% variations in S75ADB25.

Keywords: soft clay, swelling, soil stabilization, cemen, bamboo leaf ash

Abstrak: Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang tersebar di sebagian besar wilayah Indonesia. Tetapi tanah ini memiliki beberapa sifat yang merugikan. Sifat tersebut memiliki daya dukung yang relatif rendah pada kondisi jenuh air, kembang susut yang tinggi, serta plastisitas yang tinggi. Beberapa metode dilakukan untuk memperbaiki tanah lempung, salah satunya dengan melakukan stabilisasi tanah. Salah satu cara stabilisasi tanah yaitu menambahkan bahan *pozzolan* seperti semen dan abu daun bambu. Tujuan dari penambahan ini untuk mengurangi salah satu sifat merugikan tanah lempung ekspansif yaitu kembang susut (*swelling*) yang tinggi. Penelitian ini terfokus pada hasil pengujian kembang susut (*swelling*) yang menggunakan alat uji oedometer dan dilakukan dengan menggunakan 6 varian sampel yang menggunakan semen dengan persentase 12% dari massa kering tanah dan abu daun bambu dengan persentase 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari berat total semen yang digunakan. Sebelum melakukan penelitian inti, dilakukan penelitian pendahuluan yaitu pemeriksaan nilai parameter tanah asli, kandungan mineral tanah asli, dan kandungan senyawa bahan *pozzolan* yaitu abu daun bambu. Hasil dari penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa sampel tanah asli termasuk kelompok tanah lempung berplastisitas tinggi (CH) dan memiliki potensi kembang susut yang tinggi. Hasil dari kandungan senyawa kimia bahan *pozzolan* yaitu abu daun bambu memiliki senyawa SiO_2 dengan persentase 79,68%. Senyawa tersebut berperan penting dalam stabilisasi tanah menggunakan bahan *pozzolan*. Berdasarkan hasil dari pengujian kembang susut tanah (*swelling*), penggunaan semen dan abu daun bambu sebagai bahan stabilisasi berhasil menurunkan nilai kembang susut tanah dari 15,71% menjadi 4,33% pada sampel variasi S100ADB0 dan 6,07% pada sampel S75ADB25.

Kata kunci: : lempung ekspansif, swelling, stabilisasi tanah, abu daun bambu, semen

PENDAHULUAN

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang tersebar di sebagian besar wilayah

Indonesia. Tetapi tanah ini memiliki beberapa sifat yang merugikan. Salah satu di antaranya adalah sifat tanah lempung yang ekspansif, memiliki daya dukung yang relatif rendah jika

jenuh air, potensi kembang susut, serta plastisitas yang tinggi (Chen,1975). Sifat ini mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan gedung terutama pada bangunan ringan dan struktur perkerasan jalan.

Sifat yang merugikan dari tanah lempung ekspansif dapat diperbaiki dengan melakukan perbaikan atau stabilisasi tanah. Stabilisasi dapat dilakukan dengan mencampur bahan lain untuk meningkatkan sifat karakteristik tanah. Semen merupakan salah satu bahan stabilisasi yang banyak digunakan dan berlaku untuk berbagai jenis tanah. Hal itu dikarenakan semen tidak tergantung pada jenis mineral dalam tanah, tetapi karena reaksi antara semen dan air (Ates, 2016).

Penggunaan semen yang terlalu banyak memiliki kerugian dari segi ekonomi dan lingkungan. Pemakaian semen memakan biaya yang mahal dan kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, perlu alternatif bahan lain untuk mensubstitusi semen agar dapat mengurangi kerugian yang ditimbulkan. Abu daun bambu merupakan salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen. Bahan ini memiliki kandungan silika yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan untuk bahan stabilisasi tanah (Dwivedi et al, 2006).

Keuntungan dari abu daun bambu ini adalah sumber dayanya yang mudah didapat mengingat tanaman bambu merupakan tanaman yang tumbuh subur di kawasan Indonesia yang beriklim tropis. Abu daun bambu merupakan salah satu bahan *pozzolan* yang dibuat dari bahan alami yang memiliki kandungan silika yang tinggi kedua setelah abu sekam padi. Hal ini dibuktikan dari hasil penelitian yang dilakukan, kandungan silika pada abu daun bambu mencapai 75,90 – 82,86% (Sa'diyah, 2016). Dari hal tersebut, tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana pengaruh abu daun bambu terhadap substitusi semen, sebagai bahan stabilisasi, terhadap potensi pengembangan (*swelling*) pada tanah lempung ekspansif.

TINJAUAN PUSTAKA

Lempung ekspansif merupakan tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kadar air tanah. Semakin banyak kadar air pada tanah maka akan berakibat mengembang dan

menurunnya kekuatan daya dukungnya, demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah itu akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah – pecah di permukaannya serta daya dukungnya meningkat. (Hardiyatmo, 2017d).

Atterberg (1911) melakukan cara untuk menggambarkan konsistensi dari tanah dengan mempertimbangkan kandungan airnya. Cara yang dilakukan ditunjukkan melalui batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Dari batas – batas ini dapat diketahui sifat plastis tanah didapat dari nilai indeks plastisitasnya (PI) yaitu selisih antara batas cair dengan batas plastis. Indeks plastisitas sendiri merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Jika tanah memiliki nilai indeks plastisitas yang tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Jika indeks plastisitasnya rendah, maka pengurangan kadar air dapat mengakibatkan tanah menjadi kering.

Berdasarkan parameter yang dilakukan oleh Atterberg, Chen (1988) memberikan metode mengidentifikasi potensi pengembangan tanah ekspansif dengan menggunakan nilai indeks plastisitasnya (PI) seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi nilai indeks plastisitas (PI) dengan tingkat pengembangan.

Indeks plastisitas (PI) (%)	Potensi pengembangan
0-15	Rendah
10-35	Sedang
20-55	Tinggi
>55	Sangat Tinggi

Selain menggunakan metode Chen (1988), penentuan nilai potensi pengembangan dapat dilakukan di laboratorium dengan metode pengembangan di bawah tekanan 6,9 kPa (1 psi) menggunakan alat *oedometer Terzaghi*. Hasil dari uji laboratorium dapat diklasifikasikan berdasarkan Tabel 2 yang diusulkan Holtz (1969) dan USBR (1974).

Selain itu Chen (1975) juga menyarankan metode untuk mengetahui tanah lempung memiliki sifat kembang susut menggunakan metode XRD (*X-Ray Diffraction*). Metode ini bertujuan mengidentifikasi mineralogi dengan

menggunakan difraksi sinar-X untuk mendapatkan proporsi mineral lempung yang terkandung dalam lempung. Kandungan mineral yang menjadikan tanah bersifat kembang susut adalah dari golongan mineral *Smectite* (*montmorillonite*). Tanah yang mengandung mineral ini cenderung bersifat ekspansif terutama ketika kondisi basah. Hal ini dikarenakan pada kondisi basah, ikatan antara lembaran – lembaran *silica* dan *aluminium* cenderung lemah sehingga mengakibatkan mineral menjadi tidak stabil.

Stabilisasi tanah

Stabilisasi banyak dilakukan terutama pada tanah lempung ekspansif yang memiliki sifat daya dukung yang relatif rendah jika jenuh air, potensi kembang susut yang tinggi, serta plastisitas yang tinggi (Chen, 1975). Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (2005), tujuan dilakukan stabilisasi yaitu menurunkan nilai indeks plastisitas dan potensi mengembang dengan mengurangi persentase butiran halus atau kadar lempungnya.

Menurut Ingles and Metcalf (1972), salah satu stabilisasi tanah ekspansif yang murah dan efektif adalah dengan menambahkan bahan kimia tertentu, dengan penambahan bahan kimia dapat mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut tanah lempung ekspansif.

Semen

Semen merupakan *stabilizing agent* yang baik karena kemampuannya mengeras dan mengikat butir – butir agregat sehingga mendapatkan massa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi. Semen dapat bereaksi terhadap

hampir semua jenis tanah, dari yang bergradasi kasar dan non kohesif hingga yang sangat plastis sekalipun (Soekoto, 1984).

Persentase semen yang digunakan sebagai stabilisasi tanah perlu diperhitungkan. Hal ini agar campuran dapat menghasilkan kekuatan yang optimum sesuai dengan jenis tanahnya. Rollings dan Rollings (1996) mengusulkan penentuan persentase kadar semen berdasarkan jenis tanahnya yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kadar semen yang dicobakan

Macam tanah	Kadar semen, persen terhadap berat kering
Granuler, gradasi baik, GW, SW	4 – 5
Granuler, gradasi buruk atau berlanau, GP, GM, SP, SM	5 – 6
Granuler, halus berlempung, GC, SC	7 – 8
Pasir seragam halus, SP, SM	9 – 10
Lempung dan lanau, plastisitas rendah, CL, ML	9 – 10
Lempung dan lanau, plastisitas tinggi, CH, MH	11 – 12
Tanah organik, OL, OH	13 – 14

Abu daun bambu

Abu daun bambu merupakan hasil pembakaran limbah daun bambu yang didapat dari dua kali proses pembakaran yaitu pembakaran terbuka dan pembakaran tertutup. Pada pembakaran terbuka, daun bambu dibakar hingga menjadi serbuk berwarna kehitaman, kemudian pembakaran tertutup dilakukan pada oven tertutup dengan suhu 600° selama 3 jam atau hingga berwarna putih (Wijaya dkk, 2020).

Tabel 2. Potensi pengembangan

Potensi pengembangan	Pengembangan (%) (akibat tekanan 6,9 kPa)	Indeks plastisitas (<i>PI</i>) (%)	Batas susut (<i>SL</i>) (%)	Batas cair (<i>LL</i>) (%)
Sangat tinggi	>30	>35	>11	>63
Tinggi	20 - 30	25 - 41	7 - 12	50 - 63
Sedang	10 - 20	15 - 28	10 - 16	39 - 50
Rendah	<10	<18	<15	<39

Proses pembakaran tertutup ini (*furnace*) dilakukan dengan tujuan menghilangkan sisa zat karbon pada abu, sehingga diperoleh persentase SiO_2 yang tinggi (Amu dan Babajide, 2011). Hasil dari pembakaran disaring menggunakan saringan no. 200 dikarenakan kriteria abu berada di sekitar 0,002 mm - 0,005 mm (Hardiyatmo, 2017a).

Bambu yang dipergunakan merupakan jenis bambu Ori (*Bambusa arundinacea*) yang mudah dijumpai terutama di wilayah tropis terutama di pulau Jawa. Selain itu bambu ini bisa tumbuh dimana saja baik daerah tandus maupun subur di musim hujan atau kemarau, tetapi jenis ini lebih suka tumbuh pada tanah yang basah sehingga lebih mudah ditemukan di pinggir – pinggir sungai atau lereng yang curam (Sutiyono dkk, 1992).

Dalam hubungannya dengan stabilisasi tanah, abu daun bambu merupakan salah satu bahan *pozzolan* yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen karena memiliki sifat *pozzolanik*. Sifat *pozzolanik* ini dapat terbentuk karena proses reaksi antara SiO_2 (*amorf*), Al_2O_3 dengan air dan kapur yang akan membentuk *cementitious calcium silicate hydrated* dan *calcium aluminate hydrated* yang berupa gel tersegmentasi yang berfungsi mengikat partikel – partikel tanah agar tidak mudah larut dalam air (Basudewa, 1997).

Syarat mutu bahan *pozzolan* untuk dapat dipakai sebagai bahan konstruksi dapat dilihat pada Tabel 4 (ASTM C618-12a). Berdasarkan klasifikasi tipe *pozzolan*, abu daun bambu termasuk kedalam kategori tipe pozzolan kelas N (Ismanti, 2017).

METODE PENELITIAN

Penelitian bersifat eksperimental dan dimulai dengan pengambilan sampel tanah di Jalan Nasional Wates - Yogyakarta, Desa Kedungsari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Kondisi tanah yang diambil dalam keadaan terganggu (*disturbed*) di kedalaman 1,5 m di bawah permukaan tanah. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.

Persentase semen yang digunakan pada penelitian sebesar 12% dari total massa kering

tanah dan persentase abu daun bambu yang digunakan sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari total berat semen yang digunakan.

Tabel 4. Kandungan kimia *pozzolan*

Kandungan kimia	Kelas <i>pozzolan</i>		
	N	F	C
Silicon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), min (%)	70	70	50
Sulfur trioksida (SO_3), maks (%)	4	5	5
Kadar air, maks (%)	3	3	3
Hilang karena pembakaran, maks (%)	10	6	6
Kandungan alkali (Na_2O), maks (%)	1,5	1,5	1,5



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel tanah

Pemilihan persentase semen 12% berdasarkan Tabel 3 (Rollings dan Rollings, 1996) dimana jenis tanah yang diperbaiki merupakan jenis tanah lempung. Sedangkan persentase abu daun bambu yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wijaya, dkk (2020). Variasi sampel menggunakan beberapa kode sampel yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Variasi pengujian

No.	Jenis variasi sampel	Notasi
1	Tanah	Asli
2	Tanah + semen100%	S100ADB0
3	Tanah + semen75% + ADB25%	S75ADB25
4	Tanah + semen50% + ADB50%	S50ADB50
5	Tanah + semen25% + ADB75%	S25ADB75
6	Tanah + ADB100%	S0ADB100

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain:

1. Pemeriksaan kadar air
2. Pemeriksaan gravitas khusus (G_s)
3. Pengujian ukuran butir dan hydrometer
4. Pengujian batas-batas *Atterberg*
5. Pengujian swelling oedometer
6. Pemeriksaan kandungan XRD untuk kandungan mineral tanah
7. Pemeriksaan EDX-8000 untuk kandungan senyawa abu daun bambu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik tanah asli

Hasil pengujian parameter tanah asli dapat dilihat pada Tabel 6.

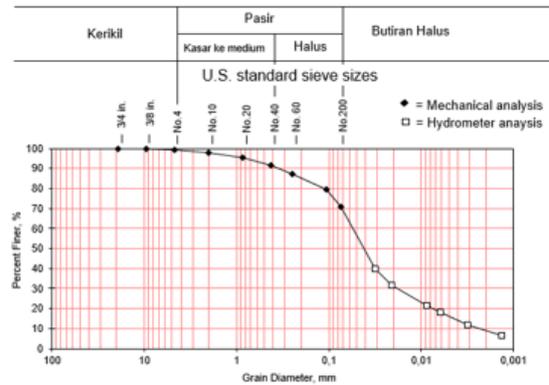
Tabel 6. Nilai parameter tanah asli

Parameter tanah	Hasil pengujian	Satuan
Kadar air (w)	10,98	%
Berat Jenis (G_s)	2,61	-
Batas Cair (LL)	75,00	%
Batas Plastis (PL)	33,96	%
Indeks Plastisitas (PI)	41,05	%
Berat volume (γ_b)	16,56	kN/m ³
Berat volume <i>saturated</i> (γ_{sat})	17,70	kN/m ³

Nilai batas-batas *Atterberg* yang didapat menunjukkan bahwa sampel tanah asli merupakan tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi. Hal ini berdasarkan Tabel 1 bahwa tanah asli memiliki nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 41,05% sehingga termasuk kategori potensi pengembangan yang tinggi. Sedangkan berdasarkan Tabel 2 sampel tanah asli termasuk kedalam kategori potensi pengembangan yang sangat tinggi. Selain itu, hasil dari pengujian distribusi ukuran butir dan hidrometer dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil distribusi ukuran butiran dan dari batas-batas *atterberg*, maka tanah sampel tergolong sebagai tanah CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi) berdasarkan klasifikasi USCS. Berdasarkan sistem klasifikasi tanah AASHTO, melihat nilai *Liquid Limit* (LL) dan Indeks Plastisitas (PI), maka tanah sampel tergolong tanah kelompok A-7-5. Hasil dari

pengujian mineral tanah asli dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 2. Distribusi persentase butir tanah yang lolos

Tabel 7. Hasil uji mineralogi tanah dengan uji XRD

No.	Nama mineral	Kadar kandungan (%)
1	<i>Smectite</i>	67,40
2	<i>Kaolinite</i>	24,06
3	<i>Kalsit</i>	5,12
4	<i>Plagioklas</i>	1,63
5	<i>Kuarsa</i>	1,40
6	<i>Hornblend</i>	0,39

Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa mineral sampel tanah asli didominasi oleh *Smectite* 67,40% dan *Kaolinite* 24,06%. *Smectite* disebut juga *montmorillonite* dikarenakan dalam pengelompokan, *montmorillonite* termasuk grup mineral *smectite*. Tanah yang mengandung *montmorillonite* cenderung bersifat ekspansif terutama ketika kondisi basah. Dari pengujian batas-batas *Atterberg* dan pengujian XRD, didapat bahwa sampel tanah asli memiliki potensi pengembangan yang tinggi.

Kandungan senyawa abu daun bambu

Hasil dari pengujian kandungan kimia abu daun bambu dapat dilihat pada Tabel 8. Hasil dari pengujian kandungan senyawa abu daun bambu memperlihatkan bahwa kandungan senyawa SiO_2 sebesar 79,68%. Berdasarkan Tabel 4, abu daun bambu termasuk kedalam kategori *pozzolan* kelas N yaitu *pozzolan* alami yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi.

Nilai pengembangan (*swelling*)

Uji pengembangan (*swelling*) dilakukan dengan metode oedometer, yaitu tanah dibebani dengan

beban tetap sebesar 6,9 kPa dan dalam kondisi terendam.

Tabel 8. Kandungan senyawa abu daun bambu

Material	Persentase (%)	Material	Persentase (%)
SiO ₂	79,68	SO ₃	2,39
K ₂ O	6,09	P ₂ O ₅	1,83
CaO	5,57	Fe ₂ O ₃	0,45
Al ₂ O ₃	3,89	Lainnya	0,17

Dikarenakan kondisi tanah pada saat pengambilan dalam kondisi terganggu (*disturbed*), maka proses penyetakan sampel disesuaikan dengan berat volume tanah kering yang didapat. Hal ini juga berlaku pada tanah yang distabilisasi dengan semen dan abu daun bambu yang menyesuaikan berat volume tanah yang telah dicampur.

Hasil pengujian potensi pengembangan sampel tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan semen dan abu daun bambu dapat dilihat pada Tabel 9. Berdasarkan Tabel 9, sampel tanah asli memiliki nilai kembang susut (*swelling*) sebesar 15,71%. Nilai ini berdasarkan Tabel 2 sampel tanah asli termasuk kedalam kategori potensi pengembangan sedang. Hal ini terjadi perbedaan bila dibandingkan dengan nilai indeks plastisitas yang menunjukkan kategori pengembangan tinggi. Hal ini terjadi karena proses pengambilan tanah dilakukan dengan kondisi tanah terganggu (*disturbed*) sehingga ketika pemodelan sampel kedalam alat uji tidak sesuai dengan kondisi asli (*undisturbed*). Tetapi dari hasil stabilisasi terlihat bahwa terdapat pengaruh dari bahan stabilisasi semen dan abu daun bambu. Nilai kembang susut (*swelling*)

mengalami perubahan yang signifikan menjadi lebih kecil yang artinya tanah menjadi lebih padat dan tidak mudah mengembang. Perubahan paling signifikan terjadi pada sampel S100ADB0, atau sampel yang menggunakan semen 100%, dengan nilai *swelling* menjadi 4,33% dengan perubahan sebesar 73% dibandingkan sampel tanah asli. Sedangkan pada sampel yang menggunakan abu daun bambu, perubahan paling signifikan terjadi pada sampel S75ADB25 atau menggunakan campuran semen 75% dan abu daun bambu 25%. Nilai *swelling* yang didapat sebesar 6,07% dengan perubahan mencapai 62,5% dibandingkan sampel tanah asli. Pada penggunaan abu daun bambu 100% pada sampel S0ADB100, nilai *swelling* berhasil turun menjadi 8,52%. Hal ini membuktikan bahwa abu daun bambu dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk mengurangi nilai kembang susut tanah lempung ekspansif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, sampel tanah asli merupakan tanah dengan klasifikasi CH (tanah lempung dengan plastisitas tinggi) dengan kandungan mineral *montmorillonite* sebesar 67,40% dan nilai *swelling* sebesar 15,71% sehingga termasuk kedalam kelompok tanah dengan potensi kembang susut yang tinggi.

Penggunaan abu daun bambu dan semen sebagai bahan stabilisasi berhasil untuk mengurangi nilai kembang susut tanah. Hal ini dibuktikan dengan nilai kembang susut (*swelling*) pada semua variasi sampel

Tabel 9. Nilai parameter tanah asli dan stabilisasi

Sampel	Berat volume kering (γ_d) (kN/m ³)	Void ratio (<i>e</i>) sebelum pengujian	Kadar air (<i>w</i>) (%)	Batas plastis (PL) (%)	Batas cair (LL) (%)	Indeks plastisitas (PI) (%)	<i>Swelling</i> (%)
Asli	1,30	1,002	29,6	33,96	75	41,05	15,71
S100ADB0	1,37	0,921	27,5	41,58	52	10,56	4,33
S75ADB25	1,31	0,943	25,3	40,09	56	16,32	6,07
S50ADB50	1,26	0,971	20,8	39,36	54	15,12	6,4
S25ADB75	1,26	0,979	20,2	38,84	60	21,34	7,36
S0ADB100	1,24	1,048	23,2	34,42	62	27,58	8,52

berada di bawah 10% yang berdasarkan Tabel 1 dan 2 merupakan kelompok tanah yang memiliki nilai potensi kembang susut yang rendah. Nilai *swelling* terkecil yang terdapat pada sampel yang menggunakan semen terjadi pada variasi S100ADB0, sedangkan pada sampel yang mulai menggunakan abu daun bambu nilai *swelling* terkecil adalah S75ADB25.

Dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan semen sebagai bahan stabilisasi dapat secara efektif mengurangi nilai kembang susut (*swelling*) tanah lunak secara signifikan. Sedangkan penggunaan abu daun bambu sebagai bahan *pozzolan* pengganti semen belum bisa menggantikan semen seluruhnya.

Hal ini dikarenakan penurunan nilai *swelling* yang didapat oleh campuran yang menggunakan abu daun bambu tidak dapat mencapai nilai *swelling* yang terjadi pada campuran semen saja. Walaupun demikian, penggunaan abu daun bambu sebagai bahan *pozzolan* tetap dapat mengurangi nilai kembang susut tanah lunak meskipun penurunan nilai *swelling* yang terjadi tidak sebesar yang dihasilkan oleh campuran semen.

DAFTAR PUSTAKA

- Amu, O.O., and Babajide, S.S., (2011), "Effects of Bamboo Leaf Ash on Lime Stabilized Lateritic Soil for Highway Construction", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 03, No. 04.
- ASTM Standard C618-12a, (2009), *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, ASTM, International, West Conshohocken, PA.
- Ates, A., (2016) "Mechanical properties of sandy soils reinforced with cement and randomly distributed glass fiber (GRC)", *Composites Part B*, Vol. 96, 295-304.
- Atterberg, A., (1911), *Über die Physikalische Bodenuntersuchung und über die plastizität der Tone*, Int. Mitt. Boden, Vol. 1.
- Basudewa, H.H., (1997), *Studi Pengaruh Campuran Limbah Electroplating dan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Bebas pada Lempung Bandung*, Naskah Seminar Hasil Penelitian Tesis Magister, Bidang Pengutamaan Geoteknik, Program Pascasarjana ITB, Bandung.
- Chen, F.H., (1975), *Foundation of Expansive Soils*, American Elsevier Science Publication, New York.
- Chen, F.H., (1988), *Foundation of Expansive Soil, 2nd, Ed*, Development in Geotechnical Eng. Vol 54, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam.
- Dwivedi, V.N., Singh, N., P., Das, S., S., Singh, N., B., (2006), "A New Pozzolanic Material for Cement Industry: Bamboo Leaf Ash", *International J Physic Sciences*, Vol. 01, 106-111.
- Hardiyatmo, H.C., (2017a), *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*, Edisi Ketiga, UGM Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., (2017b), *Mekanika Tanah I*, Edisi Ketujuh, UGM Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., (2017d), *Tanah Ekspansif Permasalahan dan Penanganannya*, Edisi Kedua, UGM Press, Yogyakarta.
- Holtz, W.G., (1969), "Expansive Clay – Properties and Problems", *Colorado School of Mines Quarterly*, Vol.54, No.4.
- Ingles, O.G. and Metcalf, J.B., (1972), *Soil Stabilization-Principles and Practice*, Butterwoths, Sydney, Melbourne, Brisbane.
- Ismanti, S., and Yasufuku, N., (2017), "Effect of Bamboo Leaf Ash Addition in Cemented Bamboo Chips Sand Soil Mixture", *Research Paper, Lowland Technology International*, Vol. 19, Hal. 13-26.
- Kementrian Pekerjaan Umum, (2005), *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Jalan Konstruksi*, Direktorat Jendral Bina Marga.
- Rollings, M.P., Rollings Jr, (1996), *Geotechnical Materials in Construction*, McGraw Hill, New Jersey, USA.
- Sa'diyah, H., dkk, (2016), *Ekstraksi Silikon Dioksida dari Daun Bambu*, Seminar Nasional Fisika, JPFF FMIPA UNJ, Jakarta.
- Soekoto, (1984), *Mempersiapkan Lapisan Dasar Konstruksi*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Sutiyono, H., Wardani, M., dan Sukardi, I., (1992), *Teknik Budi Daya Tanaman Bambu*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Bogor.
- U.S.B.R., (1974), *Earth Manual*, 2nd Edition, Colorado Denver.

Wijaya, W., Ismanti. S., Rifa'I, A., (2020), "Soft Clay Improvement Using Bamboo Leaf Ash on CBR Values", *2nd International Conference on Sustainable Infrastructure, Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1625, No. 012007.