

PERBAIKAN SIFAT GEOTEKNIK TANAH LUNAK LEMPUNG (CH) TERHADAP PENAMBAHAN SEMEN DAN LIMBAH *BOTTOM ASH*

Aditia Siringoringo¹⁾, Soewignjo Agus Nugroho²⁾, Syawal Satibi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : aditia.siringoringo@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The work built on the land which high plasticity clay (CH) that has a relatively low carrying capacity will have a short service life. To overcome this problem, efforts are made to improve the geotechnical properties of the soil by stabilizing using bottom ash (coal waste) and cement. The addition of this mixture aims to determine its effect in efforts to improve the physical and mechanical properties of high plasticity (CH) clay. The sample making in this research is based on the variation of bottom ash mixture 5%, 10%, 15% and the variation of the cement mixture is 3% and 5% of the dry weight of the soil. The UCS test was carried out as a reference to see the effect of using a mixture of bottom ash and cement. Testing of UCS samples was carried out based on curing time, with the following curing variations, without curing, 7 days and 28 days. Based on the results of the original soil UCS test, the C_u value is 10.55 kPa and the best mixed soil test value is in the variation of the soil mixture L-S5-BA15-C28 with a C_u value of 30.71 kPa. The conclusion from the research proved that the addition of a mixture of bottom ash and cement was able to increase the C_u value by 291.09% at 15% bottom ash content and 5% cement with a curing time of 28 days.

Keywords : Bottom Ash, Cement, UCS, stabilization.

A. PENDAHULUAN

Tanah lempung plastisitas tinggi (CH) merupakan Salah satu jenis tanah lunak yang memiliki perilaku tidak konsisten serta daya dukung yang relatif rendah. Selain itu, tanah lempung CH memiliki indeks plastisitas tinggi yang membuat tanah ini mempunyai perilaku mengembang bila terkena air. Dalam bidang rekayasa sipil, pembangunan di atas tanah lunak membutuhkan perhitungan dan perencanaan yang matang agar tidak terjadi kegagalan pada bangunan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan pada tanah lempung CH

adalah dengan melakukan perbaikan pada tanah atau stabilisasi tanah.

Stabilisasi pada tanah lempung CH dapat dilakukan dengan menambahkan bahan tambah (*additive*) seperti semen dan *bottom ash*. Penelitian sebelumnya dengan menggunakan bahan tambah tersebut menunjukkan adanya perbaikan pada kondisi tanah lempung baik sifat fisis maupun sifat mekanisnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Purnama (2016) tentang pengaruh penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif di daerah Lakarsantri Surabaya terhadap nilai daya dukung fondasi dangkal menyimpulkan daya

dukung pondasi mengalami peningkatan sebesar 91,67 % pada penambahan *bottom ash* sampai dengan 37,5%. Semen sebagai bahan stabilisasi juga menunjukkan peningkatan sifat geoteknik yang cukup signifikan seperti yang terlihat pada penelitian Adriani (2012) yang berjudul pengaruh penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung daerah Lumbang Bukit Padang terhadap nilai CBR tanah. Pada penelitian diperoleh nilai CBR tanah asli sebesar 8,204% mencapai peningkatan yang signifikan pada campuran optimum 20% semen dengan waktu pemeraman 3 hari dengan nilai CBR 64,138%.

Pada penelitian ini akan dilakukan stabilisasi tanah lempung lunak dengan bahan tambah kombinasi limbah *bottom ash* dan semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan *additive* semen dan *bottom ash* dalam upaya meningkatkan daya dukung tanah dengan variasi kadar campuran yang berbeda-beda terhadap lama waktu pemeraman, dengan kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*).

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1. Stabilisasi Tanah dengan Semen PCC

Portland Composite Cement (PCC) merupakan semen hidrolis yang berarti akan mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan massa yang dapat memadat dan mengeras jika dicampur dalam air dalam jumlah tertentu. Bahan ikat hidrolis dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (SNI-15-2049-2015)..

Semen PCC merupakan jenis produk semen yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan khusus dalam aspek biaya maupun pada aspek teknis

yang tidak bisa dipenuhi oleh semen portland biasa. Bahan organik yang terkandung pada semen PCC antara lain pozzolan, senyawa silikat dan batu kapur yang merupakan bahan-bahan mineral yang memiliki sifat *pozzolanik* yang dapat bereaksi dengan kalsium oksida dan air pada temperatur biasa. Kadar silika yang tinggi pada jenis semen ini menyebabkan proses pengerasan menjadi agak lambat dan panas hidrasinya rendah, namun secara signifikan kekuatan beton akan meningkat pada umur 28 hari. Pada umumnya semen berfungsi sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pengikat antar butiran tanah
2. Sebagai pengisi rongga-rongga di antara butir-butir tanah.

Penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah telah banyak dilakukan dan berdasarkan literatur yang ada, bahwa dengan adanya penambahan semen, terlihat bahwa daya dukung tanah tersebut meningkat. Chairullah (2011), Adriani (2012) dan Pirmadona (2015) melakukan penelitian dengan tema yang sama penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah dan dari hasil penelitian ketiganya menunjukkan trend yang sama yaitu, bahwa setiap adanya penambahan jumlah semen maka daya dukung tanah akan meningkat.

B.2. Stabilisasi Tanah dengan Bottom Ash

Penggunaan *bottom ash* masih jarang dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi. Usaha untuk memanfaatkan *bottom ash* terkendala oleh keunikan bentuk butirannya, Ukuran partikel yang lebih besar dari *fly ash* mengakibatkan workability campuran yang menggunakan *bottom ash* lebih

buruk dari pada campuran yang menggunakan semen dan fly ash. Secara umum reaksi pozzolan abu batu bara berhubungan dengan kehalusan partikel, dalam hal ini *bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih kasar dan besar dari fly ash dimana dipercaya akan menyebabkan reaksi pozzolan yang tidak efektif (Kim, 2015). Material *bottom ash* memiliki beberapa karakteristik dimana sifat dan susunan senyawa kimia penyusun *bottom ash* dipengaruhi oleh cara penyimpanan, metode pembakaran dan perbedaan mutu batu bara. Karakteristik tersebut dapat diketahui dengan melakukan uji laboratorium.

Bottom ash dianggap dapat menjadi pengganti semen karena mempunyai salah satu unsur kimia semen yang penting pada proses pengikatan yaitu silika (Ristinah, 2012), sehingga *bottom ash* tersebut diharapkan dapat bekerja sebagai bahan tambah maupun pengganti semen dalam campuran tanah dan sebagai solusi permasalahan lingkungan industri. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Purnama (2016), Panjaitan (2017), dan Siregar (2019) mengenai penggunaan *bottom ash* sebagai bahan stabilisasi tanah menunjukkan adanya peningkatan nilai daya dukung tanah akibat penambahan *bottom ash*.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1. Bahan

C.1.1. Tanah

Tanah pada penelitian ini diperoleh dari daerah sekitar Proyek Tol Pekanbaru-Dumai Seksi 1. Lokasi pengambilan sampel tanah terletak di Jl. Ikan Raya Desa Muara Fajar, Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru. Sampel tanah diambil pada keadaan terganggu (*disturbed*), yang berarti

tanah sampel memiliki struktur yang tidak sama dengan kondisi tanah semula.

Persiapan sampel tanah dilakukan dimulai saat pengeringan ringan dengan menjemur sampel tanah di bawah sinar matahari untuk mengurangi beban pengeringan saat dimasukkan kedalam oven untuk mendapatkan sampel tanah dalam kondisi *saturated surface dry* (SSD) atau mendekati kadar air 0%. Bongkahan sampel tanah kemudian ditumbuk-tumbuk menjadi bagian yang lebih kecil lagi sehingga dapat untuk disaring dengan saringan nomor 4 (4,750 mm). Setelah mendapatkan sampel tanah yang lolos saringan No.4, tanah kemudian dimasukkan kedalam oven selama 24 jam yang bertujuan untuk pengeringan total hingga sampel tanah dalam kondisi SSD

C.1.2. Bottom Ash

Bahan *bottom ash* yang digunakan berasal dari PT. Indah Kiat Pulp and Paper (IKPP). Lokasi PT IKPP berada di Jl. Raya Minas perawang, Km. 26, Pinang Sebatang, Siak, Riau.

Sama halnya dengan sampel tanah, *bottom ash* yang akan digunakan haruslah dalam kondisi berat kering jenuh (SSD). Berbeda dengan sampel tanah, *bottom ash* yang direncanakan melewati tahap penyaringan dengan syarat lolos saringan nomor 60 (0,250 mm) dan tertahan saringan nomor 80 (0,180 mm). Sampel yang telah disaring kemudian dimasukkan kedalam oven selama 24 jam.

C.1.3. Semen PCC

Semen yang digunakan dapat diperoleh di berbagai toko bangunan, namun agar kondisi semen tetap terjaga pada kadar air 0% maka perlu dilakukan pemeraman didalam wadah kedap air, dalam penelitian ini

menggunakan plastik untuk membungkus semen.

C.2. Alat

Keseluruhan alat yang digunakan berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Universitas Riau. Standar pengujian yang dilakukan berpedoman pada ASTM. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini berupa alat pengujian *properties* dan pengujian mekanis. Adapun alat-alat yang digunakan sebagai berikut:

1. Alat pengujian propertis
 - a) Alat uji batas-batas Atterberg
 - b) Alat uji berat jenis
 - c) Alat uji proctor
 - d) Alat uji analisa saringan
 - e) Alat uji berat volume.
2. Alat uji sifat mekanis, *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

C.3. Pembuatan dan Variasi Sampel

Pembuatan campuran sampel dilakukan pada saat akan melakukan setiap pengujian pada tanah campuran. Komposisi bahan dalam pembuatan sampel berdasarkan persentase bahan dan variasi pemeraman pada setiap pengujian. Komposisi bahan dalam pembuatan sampel : lempung, *portland composite cement*, dan *bottom ash*. Persentase kadar semen PCC sebesar 3% dan 5% sedangkan variasi campuran *bottom ash* sebesar 5%, 10% dan 15% pada masing-masing campuran. Sampel dirancang pada kondisi air awal 50% dari berat kering tanah asli kemudian dilakukan pemeraman didalam desikator dengan variasi pemeraman pada setiap pengujian adalah tanpa pemeraman, 7 hari dan 28 hari. Variasi jenis sampel yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Tabe l.

Tabel 1. Variasi Jenis Sampel

No	Kadar Semen	kadar Bottom ash	Variasi Pemeraman
1		5	Tanpa
2	3%	10	pemeraman, 7 dan 28 hari
3		15	
4		5	Tanpa
5	5%	10	pemeraman, 7 dan 28 hari
6		15	
7	100%	Tanah lempung CH	Tanpa pemeraman

Berikut keterangan pengkodean sampel pada penelitian ini :

- S3 = Semen 3%
- S5 = Semen 5%
- BA5 = *Bottom Ash* 5%
- BA10 = *Bottom Ash* 10%
- BA15 = *Bottom Ash* 15%
- C0 = *Curing* 0 Hari
- C7 = *Curing* 7 Hari
- C28 = *Curing* 28 Hari
- L0 = Tanah Lempung Asli
- L = Tanah Lempung pengurangan L0 terhadap BA dan semen.

C.4. Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

Pengujian UCS ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan bebas pada setiap variasi sampel yang nantinya akan digunakan sebagai pertimbangan dalam melihat pengaruh penambahan campuran *bottom ash* dan semen sebagai bahan stabilisasi untuk memperbaiki karakteristik tanah lempung plastisitas tinggi. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM D 2166. Pengujian sampel dilakukan setelah proses *curing* selama 7 hari dan 28 hari sedangkan untuk variasi sampel tanpa proses *curing* dapat langsung dilakukan pengujian UCS setelah sampel dibuat.

D. DAN PEMBAHASAN

D.1. Hasil Pengujian Propertis Tanah Lempung CH

Hasil dari pengujian ini berupa data berat jenis, batas plastis dan batas cair, indeks plastisitas, berat volume kering tanah, kadar air optimum, dan sebagainya. Rekapitulasi hasil pengujian propertis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Propertis Tanah

No	Deskripsi pengujian	Hasil
1.	<i>Spesific Gravity</i>	2,61
2.	<i>Atterberg Limit</i>	
	a. LL	69,59 %
	b. PL	32,39 %
	c. PI	37,20 %
3.	<i>Standart Proctor</i>	
	a. OMC	32,25 %
	b. γ dry	1,382 g/cm

D.2. Hasil Pengujian Propertis Bottom Ash

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisis dari material *bottom ash* yang akan digunakan sebagai data dalam penelitian. rekapitulasi hasil pengujian propertis *bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Propertis Bottom Ash

No	Deskripsi Pengujian	Bottom Ash
1	<i>Spesific Gravity</i>	2,54
2	Berat Volume	1,17 gr/cm ³
3	Kadar Air	3,06 %
4	Analisa Saringan	Lolos No.60 & Tertahan No.80

D.3. Hasil Pengujian Unconfined Compressive Strength (UCS)

Data-data yang diperoleh dari penelitian ini berupa nilai kadar air (W), berat volume kering (γ dry), nilai kuat

tekan tanah (qu), dan nilai kuat geser tanah tidak teralirkan (Cu).

D.3.1. Kadar Air (W) UCS Tanah Asli dan Campuran

Kadar air sampel UCS tanah asli dan campuran pada kondisi sebelum *curing* dan setelah *curing* yang diperoleh merupakan salah satu elemen penting dalam pengaruhnya terhadap γ dry sampel. Berikut hasil kadar air sampel UCS seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kadar Air Sampel UCS

Variasi Sampel	Kadar Air (%)	
	Sebelum <i>Curing</i>	Setelah <i>Curing</i>
L0	50,00	50,00
L-S5-BA5-C0	45,00	42,09
L-S5-BA10-C0	42,50	42,17
L-S5-BA15-C0	40,00	39,51
L-S5-BA5-C7	45,00	43,61
L-S5-BA10-C7	42,50	40,78
L-S5-BA15-C7	40,00	39,85
L-S5-BA5-C28	45,00	43,59
L-S5-BA10-C28	42,50	37,89
L-S5-BA15-C28	40,00	35,31
L-S3-BA5-C0	46,00	44,54
L-S3-BA10-C0	43,50	41,14
L-S3-BA15-C0	41,00	39,73
L-S3-BA5-C7	46,00	44,31
L-S3-BA10-C7	43,50	40,47
L-S3-BA15-C7	41,00	36,63
L-S3-BA5-C28	46,00	45,19
L-S3-BA10-C28	43,50	40,47
L-S3-BA15-C28	41,00	40,06

Catatan : Komposisi Air Sebelum *Curing* (Saat Mencampur) = $(50\% \times \text{Berat Kering Tanah}) / (\text{Total Berat Campuran Kering} \times 100)$

Pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa kadar air menurun secara konstan sesuai dengan penambahan kadar semen dan *bottom ash* dari yang tertinggi ke terendah, serta jika dilihat pengaruhnya terhadap waktu *curing* kadar air akan mengalami penurunan dari waktu *curing* 0 hari ke waktu *curing* 28 hari.

D.3.2. Berat Volume Kering (γ_{dry}) Sampel UCS Tanah Asli dan Campuran

Berat volume tanah kering dipengaruhi oleh nilai kadar air, sehingga perubahan nilai berat volume kering tanah asli dan campuran mengikuti sifat perubahan nilai kadar air. Berikut hasil γ_{dry} pada setiap variasi sampel UCS yang terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Berat Volume Kering Sampel UCS Tanah Asli dan Campuran

Variasi Sampel	γ_{dry} Sebelum Curing		γ_{dry} Setelah Curing	
	(gram/cm ³)		(gram/cm ³)	
	S5	S3	S5	S3
L0	1,124	1,124	1,124	1,124
L-BA5-C0	1,204	1,168	1,229	1,180
L-BA10-C0	1,219	1,204	1,222	1,224
L-BA15-C0	1,276	1,248	1,281	1,259
L-BA5-C7	1,198	1,177	1,209	1,141
L-BA10-C7	1,232	1,221	1,244	1,172
L-BA15-C7	1,271	1,246	1,177	1,205
L-BA5-C28	1,199	1,188	1,207	1,189
L-BA10-C28	1,254	1,216	1,279	1,238
L-BA15-C28	1,264	1,246	1,316	1,250

Keseluruhan hasil yang didapat menjelaskan bahwa berat volume tanah kering (γ_{dry}) jika ditinjau dari peningkatan kadar semen dan *bottom ash* pada setiap variasi sampel maka nilai γ_{dry} mengalami peningkatan.

D.3.3. Hasil Nilai Cu dan q_u UCS Sampel Campuran

Nilai Cu dan q_u pada setiap variasi sampel dipengaruhi oleh kadar campuran semen dan *bottom ash* serta waktu *curing*. nilai kuat geser dan kuat

tekan tanah pada setiap variasi sampel mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar semen, *bottom ash* serta waktu *curing*. Berikut hasil pengujian UCS berupa nilai kuat geser tanah (C_u) dan kuat tekan tanah (q_u), seperti yang terlihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Nilai C_u Pengujian UCS

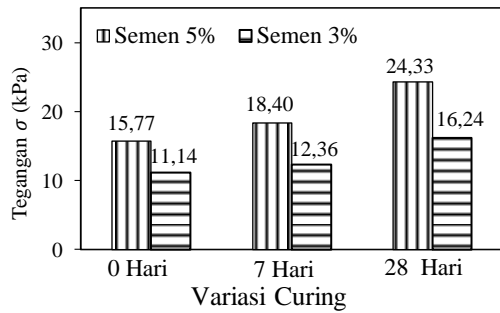
Variasi Sampel	Kuat Geser Tanah C_u		
	Umur Pemeraman (kPa)		
	C0	C7	C28
L	11,02		
L-S5-BA5	15,77	18,40	24,33
L-S5-BA10	18,31	22,96	27,24
L-S5-BA15	19,16	27,36	30,71
L-S3-BA5	11,14	12,36	16,24
L-S3-BA10	11,29	16,05	17,75
L-S3-BA15	11,70	19,37	22,62

Tabel 7. Nilai q_u Pengujian UCS

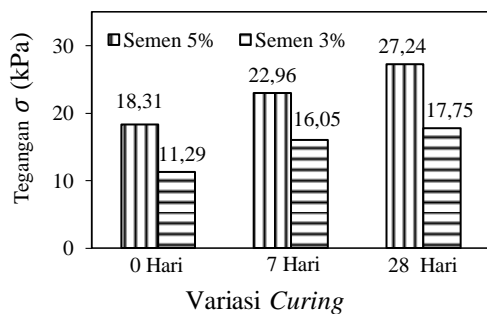
Variasi Sampel	Kuat Tekan Tanah q_u		
	Umur Pemeraman (kPa)		
	C0	C7	C28
L	22,04		
L-S5-BA5	31,54	36,81	48,66
L-S5-BA10	36,62	45,93	54,48
L-S5-BA15	38,31	54,72	61,42
L-S3-BA5	19,80	24,71	32,48
L-S3-BA10	22,57	32,10	35,50
L-S3-BA15	23,41	38,73	45,25

Variasi sampel dengan kadar semen 5% mengalami kenaikan yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan variasi sampel dengan kadar semen 3%, nilai C_u dan q_u terbesar terdapat pada jenis sampel L-S5-BA15 pada waktu pemeraman 28 hari dengan nilai C_u sebesar 30,71 dan nilai q_u sebesar 61,42. Perbandingan nilai UCS

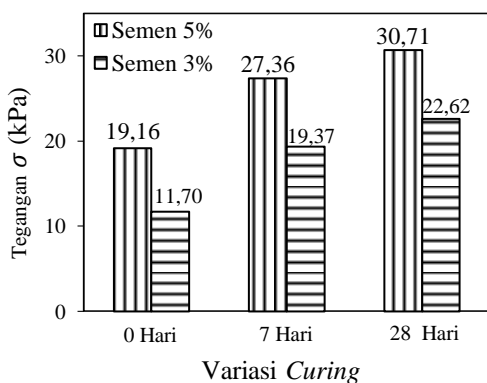
pada setiap jenis variasi *bottom ash* dapat dilihat pada Gambar 1, 2 dan 3.



Gambar 1. Perbandingan Nilai Cu Variasi BA 5%



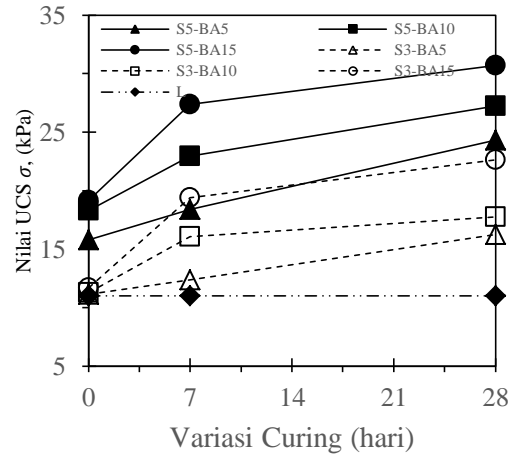
Gambar 2. Perbandingan Nilai Cu Variasi BA 10%



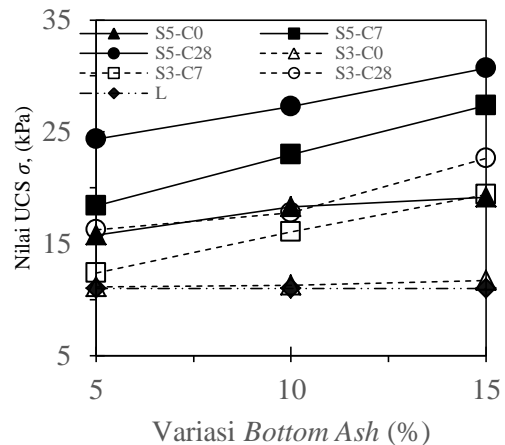
Gambar 3. Perbandingan Nilai Cu Variasi BA 15%

Nilai Cu pada setiap variasi sampel mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu *curing*, hal ini berkaitan dengan reaksi *bottom ash* dan semen terhadap campuran tanah.

Material *bottom ash* dan semen memerlukan waktu *curing* untuk dapat bereaksi terhadap campuran tanah secara maksimal. Hasil dari setiap sampel jika dibandingkan dengan tanah asli dalam bentuk diagram garis akan tampak pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh Curing Terhadap Nilai Cu UCS



Gambar 5. Pengaruh *Bottom Ash* Terhadap Nilai Cu UCS

D.3.4. Hubungan Nilai q_u UCS dengan Modulus Elastisitas (E_{50})

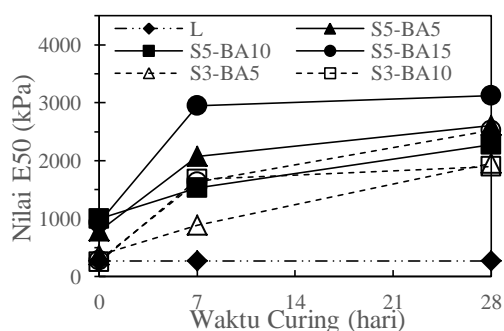
Modulus elastisitas tanah merupakan parameter dalam menentukan karakteristik kekuatan atau

elastisitas tanah yang dinyatakan dalam modulus sekan (E50). E50 ditentukan berdasarkan sifat regangan terhadap tegangan pada masing-masing sampel, E50 merupakan nilai setengah kekuatan puncak (σ_{50}) dibagi dengan ϵ_{50} . Hasil modulus elastisitas tanah E50 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Modulus Elastisitas (E50) Sampel UCS Tanah Asli dan Campuran

Variasi Sampel	Modulus Elastisitas, E50 (kPa)		
	C0	C7	C28
L	263,84	263,84	263,84
S5-BA5	782,83	2073,91	2604,62
S5-BA10	997,21	1527,94	2275,82
S5-BA15	926,04	2947,64	3124,19
S3-BA5	368,88	879,93	1953,26
S3-BA10	247,50	1671,64	1894,20
S3-BA15	279,95	1626,80	2520,35

Hasil Modulus Elastisitas (E50) dari sampel UCS Campuran Semen 5% (S5) dan Semen 3% (S3) jika digambarkan dalam diagram garis maka akan terlihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Nilai E50 Variasi Sampel UCS

Penambahan kadar BA dan semen serta waktu curing mempengaruhi nilai E50 pada setiap variasi sampel, nilai E50 mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar campuran BA dan semen serta lamanya waktu curing. Kenaikan nilai E50 yang

signifikan terdapat pada variasi sampel L-S5-BA15-C28

E. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian, pengolahan dan pembahasan, diperoleh kesimpulan bahwa Penambahan *Bottom Ash* dan Semen terhadap tanah lunak plastisitas tinggi terbukti dapat memperbaiki sifat geoteknik tanah lunak yang ditinjau berdasarkan meningkatkan nilai kuat tekan bebas (Cu) dan nilai kuat tekan (qu), sehingga meningkatkan kekakuan sampel UCS yang ditandai dengan peningkatan nilai E50. Variasi sampel UCS yang mengalami peningkatan nilai UCS terbesar adalah sampel dengan kadar Semen 5% dan *Bottom Ash* 15% pada waktu *Curing* 28 hari dengan nilai UCS 61,42 kPa yang mengalami peningkatan sebesar 178,72% jika dibandingkan dengan nilai qu L sebesar 22,04 kPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani. (2012). Jurnal Rekayasa Sipil. *Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah*, 29.
- Das, B. M. (2014). *Advanced Soil Mechanics 4th edition*. In CRC press: Taylor & Francis Group.
- Dungca, J. R. (2017). International Journal of Geomate. *Strength And Permeability Characteristics Of Road Base Materials Blended With Fly Ash And Bottom Ash*, 9-15.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah I*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Ir. Banta Chairullah, M. (2011). Stabilisasi Tanah Lempung Lunak untuk Material Tanah Dasar Sub Grade dan Sub Base Jalan Raya. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 61-70.
- Kim, H. K. (2015). Utilization of Sieved and Ground Coal Bottom Ash Powders as a Coarse Binder in High-Strength Mortar to Improve Workability. *Construction and Building Materials*, 57-64.
- Muhardi. (2016). Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian*, 18 - 27.
- Pirmadona, S. M. (2015). Stabilisasi Tanah Plastisitas Rendah dengan Semen. *JOM F Teknik Voume 2 No.2*.
- Purnama, Y. (2016). *Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Lakarsantri Surabaya Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal*, 8.
- Raharmadi, B. (2017). *Meningkatkan Nilai Kuat Tekan Bebas (UCS) Tanah Manyawang Distabilisasi dengan Semen*, 1-94.
- Ristinah, A. Z. (2012). *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash sebagai Pengganti Semen pada Campuran Batako Terhadap Kuat Tekan Batako*, 265.
- Santoso, I. (2003). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Dimensi Teknik Sipil*, 75-81.
- Siregar, D. S. (2019). Stabilisasi Tanah Lempung dengan Kapur Tohor (CaO) dan Bottom Ash Ditinjau dengan Uji Tekan Bebas dan Nilai California Bearing Ratio. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Surta Ria Nurliana Panjaitan, R. T. (2017). Potensi Penambahan Dolomit dan Bottom Ash Terhadap Peningkatan Nilai CBR Tanah Ekspansif. *Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu 2017 1 (INA-Rxiv Preprints to CC-By Attribution)*.