

PENGARUH WAKTU *CURING* TERHADAP NILAI *SWELLING* PADA TANAH LEMPUNG DENGAN CAMPURAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*

INFLUENCE OF CURING TIME FOR SWELLING VALUE OF CLAY MIXED WITH FLY ASH AND BOTTOM ASH

M Khadafi Lembasi¹, Soewignjo Agus Nugroho^{*2}, Ferry Fatnanta²

*Corresponding Author: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

¹Prodi Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Abstrak—Tanah lempung yang berplastisitas tinggi memiliki masalah dengan kembang susut yang cukup tinggi, oleh karena itu perlu adanya stabilisasi agar nilai pengembangan pada tanah lempung plastisitas tinggi turun dan dapat digunakan sebagai tanah dasar dalam suatu konstruksi. Upaya stabilisasi yang dilakukan dengan cara mencampurkan tanah lempung dengan bahan aditif berupa abu dasar, abu terbang, dan kapur. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh lama waktu pemeraman untuk mendapatkan nilai pengembangan terkecil pada tanah lempung plastisitas tinggi akibat penambahan bahan aditif berupa kapur, abu dasar dan abu terbang. Hasil kajian menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan aditif dan memberi perlakuan berupa pemeraman pada campuran tanah lempung dapat menurunkan nilai *swelling*. Untuk kondisi optimum potensi pengembangan terjadi pada variasi campuran L 5% + MS₆ 95%, dimana pada campuran tersebut potensi pengembangan sangat kecil dibandingkan dengan tanah asli dan tanah campuran lainnya. Dapat dilihat dari kondisi pemeraman 28 hari penurunan yang terjadi sebesar 98% dibanding tanah asli yang tidak diberi perlakuan. Dapat disimpulkan bahwa dengan memberi campuran bahan aditif dan diberi pemeraman dapat memperbaiki tanah asli dan dapat memperkecil nilai *swelling potential*.

Kata kunci— Tanah Lempung, Abu Terbang, Abu Dasar, Mengembang

Abstract— High plasticity clay has a problem with high shrinkage and swelling, there is a need for stabilization so that the swelling value in high clay plasticity decreases and can be used as a subgrade in a construction. Stabilization efforts are carried out by mixing clay with additive materials such as bottom ash, fly ash and lime. The purpose of this study was to determine the effect of curing time to get the smallest development value in high plasticity clay due to the addition of additive materials such as lime, bottom ash and fly ash. The results show that the addition of additive substances and giving treatment in the form of ripening in a mixture of clay can reduce the value of swelling. For optimum conditions the swelling potential occurs in variations of the L 5% + MS₆ 95% mixture, where in the mixture the swelling potential is very small compared to the original soil and other mixed soils. It can be seen that from the condition of curing 28 days a decrease that occurred by 98% compared to the original land that was not given any protection. It can be concluded by a mixture of additive ingredients and given ripening can improve the original soil and can reduce the value of swelling potential.

Keywords— Clay, Fly Ash, Bottom Ash, Swelling

I. PENDAHULUAN

Sifat tanah pada umumnya tidak memiliki kualitas yang memadai untuk dilaksanakan pada suatu konstruksi. Permasalahan yang sering muncul di lapangan seperti tanah dasar dengan kembang susut tanah yang bisa mengakibatkan kerusakan hingga kegagalan suatu struktur yang ada di atasnya. Sifat kembang susut dikenal dengan istilah lempung

ekspansif, dimana tanah ini memiliki daya dukung yang rendah [1].

Upaya untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan perbaikan fisik atau stabilisasi pada tanah lempung. Stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi dengan bahan tambah (kimiaawi). Stabilisasi dengan cara mekanis didasarkan atas usaha-usaha mekanis, seperti

kompaksi dan kuat tekan bebas. Pada cara kimiawi, suatu bahan aditif berupa *binders* seperti kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dicampurkan dalam tanah kemudian akan mengubah sifat fisis dan mekanis tanah [2].

PLTU Tenayan Raya yang berlokasi di Pekanbaru menghasilkan bahan limbah *fly ash* dan *bottom ash*. Sebagian limbah tersebut dimanfaatkan oleh pabrik semen. Pemanfaatan limbah batubara dalam hal ini *fly ash* dan *bottom ash* dapat dipergunakan kembali dalam stabilisasi tanah untuk suatu konstruksi. Oleh karena itu limbah tersebut dipilih untuk dipergunakan sebagai bahan aditif dalam komposisi campuran pada stabilisasi tanah.

Kapur merupakan bahan aditif untuk tanah plastis, meningkatkan kemampuan kerja dan kekuatan. Menurut Beetham dkk. [3], stabilisasi dengan kapur dapat menurunkan nilai plastisitas dan nilai kepadatan tanah asli, menaikkan kadar air optimum dan kekuatan daya dukung tanah. Sifat ekspansif yang menyusut dan berkembang karena kondisi airnya akan berkurang secara drastis karena butir kapur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah Lempung

Tanah lempung (*clay*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan sub-mikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral lempung (*clay mineral*), dan mineral yang sangat halus lain. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang mempunyai ukuran kurang dari 0,002 mm [4]. Lempung memiliki sifat yang khas yaitu dalam keadaan basah akan bersifat lunak serta plastis dan kohesif, mengalami peristiwa pengembangan dan penyusutan yang cepat sehingga menghasilkan perubahan volume yang besar akibat pengaruh adanya air yang bercampur [5].

Tanah lempung memiliki beberapa sifat antara lain [6]:

1. Butiran halus yang lebih kecil dari 0,002 mm.
2. Permeabilitas yang rendah.
3. Kenaikan air kapiler tinggi.
4. Sangat kohesif.
5. Kadar kembang susut tinggi.
6. Proses konsolidasi lambat.

B. Kapur

Kapur adalah Kalsium Oksida (CaO) yang dibuat dari batuan karbonat yang dipanaskan pada suhu sangat tinggi. Kapur tersebut umumnya berasal dari

batu kapur (*limestone*) atau *dolomite*. Dalam pelaksanaan stabilisasi, kapur yang sering digunakan adalah Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂), sedangkan Kalsium Karbonat (CaCO₃) kurang bagus dipakai dalam bahan stabilisasi kecuali sebagai pengisi [7].

Berdasarkan SNI 03-147-1996 terdapat beberapa jenis kapur antara lain [8]:

1. Kapur tipe I adalah kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi dengan kadar Magnesium Oksida (MgO) paling tinggi 4% berat.
2. Kapur tipe II adalah kapur Magnesium atau Dolomit yang mengandung Magnesium Oksida lebih dari 4% dan paling tinggi 36% berat.
3. Kapur tohor (CaO) adalah hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$, dengan komposisi sebagian besar Kalsium Karbonat (CaCO₃).
4. Kapur padam adalah hasil pemadaman kapur Tohor dengan air, sehingga membentuk *hydrate* [Ca (OH)₂].

C. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash merupakan bagian terbesar dari abu batubara yang memiliki ukuran butiran yang halus dan menampakkan warna keabu-abuan. Pemanfaatan *fly ash* untuk stabilisasi tanah adalah karena *fly ash* mempunyai sifat *pozzolanic* dan juga dapat mengurangi permasalahan *shrinkage and cracking* yang biasanya timbul pada penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah. Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain adalah Silika (SiO₂), Alumina (Al₂O₃), Feri Oksida (Fe₂O₃), dan Kalsium Oksida (CaO). Juga mengandung unsur tambahan lain yaitu Magnesium Oksida (MgO), Titanium Oksida (TiO₂), Alkalin (Na₂O dan K₂O), *Sulphur trioxides* (SO₃), Pospor Oksida (P₂O₅) dan karbon [9].

D. Abu Dasar (*Bottom Ash*)

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat daripada *fly ash*, sehingga abu dasar akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang. *Bottom ash* mempunyai karakteristik fisik berwarna abu-abu gelap, berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya. *Bottom ash* memiliki kandungan kimia seperti Si, Al, Ti, Ca,

dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel negatif yang ada pada permukaan tanah [10].

E. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Metode tersebut seperti pencampuran tanah untuk mencapai gradasi yang diinginkan dan pencampuran *additive* yang dapat mengubah gradasi, tekstur atau plastisitas, atau pengikat tanah [11].

Beberapa cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut [12]:

1. Stabilisasi mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis, seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya atau dengan cara mencampur dan mengaduk dua macam tanah lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan. Material yang telah dicampur kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain.
2. Stabilisasi kimiawi, yaitu penambahan bahan stabilisasi yang dapat merubah sifat tanah yang kurang menguntungkan seperti: kekuatan, tekstur, kemudahan pengerjaan, dan plastisitas. Contoh-contoh bahan tambah adalah kapur, semen portland, *fly ash*, *bottom ash*, aspal (bitumen), dan lain-lain.

F. Potensi Pengembangan

Pengembangan (*swelling*) adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori berlebih. Proses pengembangan (*swelling*) terjadi karena kandungan air yang tinggi, sehingga tanah yang jenuh air ini akan mengembang dan tegangan efektif tanah akan mengecil seiring dengan peningkatan tegangan air pori. Secara umum sifat *swelling* tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang.

Uji *swelling* dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang dibutuhkan untuk pengujian

dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk ke dalam tanah, karena tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika berinteraksi dengan air. Beberapa penelitian melakukan pengujian ini selama 2 jam dan menunggu sampai kecepatan mengembang mencapai kecepatan 0,001"/jam, sehingga memerlukan waktu beberapa hari [13]. Penentuan pembacaan akhir dial pengembangan dan hitung pengembangan, dinyatakan sebagai persentase tinggi benda uji awal, digunakan rumus berdasarkan [14] sebagai berikut:

$$\Delta h = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan:

Δh adalah pengembangan (%)

h_1 adalah tinggi awal benda uji

h_2 adalah tinggi akhir benda uji setelah perendaman, dinyatakan dalam mm.

Garcia-Iturbe, Martines, dan Polin (1980) dalam penelitiannya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang seperti ditunjukkan pada Tabel-1. Dari Tabel-1 dapat dilihat bagaimana potensi pengembangan suatu sampel tanah [15].

Tabel-1. Hubungan potensi mengembang dengan tekanan mengembang menurut Garcia-Iturbe dkk. [15]

Swelling Potential (%)	Swelling Potential
< 2	Low
2 - 4	Medium
4 - 7	High
> 7	Very high

Beberapa penelitian yang terkait ditunjukkan pada **Tabel-2**, seperti penelitian Zulnasari dkk [18] yang melihat pengaruh penambahan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terhadap plastisitas dan nilai kuat tekan bebas. Penelitian Zega dkk [19], melihat nilai UCS dan CBR serta ikatan yang terjadi dalam tanah karena penambahan semen dan FABA dan penelitian Nugroho [20] serta Kusuma [21].

Tabel-2. Penelitian terdahulu yang berhubungan

No.	Penelitian	Additives	Observed	Keterangan
1.	Kusuma (2017)	<i>Fly ash</i>	UCS, CBR	optimasi
2.	Zulnasari dkk (2019)	Lime, FA, BA	UCS	Kuat tekan
3.	Zega dkk (2019)	Semen, FABA	SEM, UCS, FABA	Melihat ikatan
4.	Nugroho dkk (2020)	Lime, FA, BA,	Curing CBR	pengaruh mould/plastic

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh lama waktu pemeraman (*curing*) dan mendapatkan nilai *swelling* terkecil pada tanah lempung plastisitas

tinggi akibat penambahan bahan aditif berupa kapur, fly ash dan bottom ash.

III. METODE

A. Persiapan Benda Uji

Bahan yang digunakan meliputi:

1. Tanah

Benda uji yang diteliti adalah tanah yang diambil berasal dari Proyek Tol Pekanbaru-Dumai seksi 1.

2. Bottom Ash dan Fly Ash

Bahan bottom ash dan fly ash yang digunakan berasal dari PJB PLTU Tenayan Raya. Karakteristik dari bottom ash dan fly ash diuji kimia di Laboratorium Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

3. Kapur

Tipe kapur yang dipergunakan adalah kapur Tohor yang terdapat di pasaran.

B. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah alat untuk pengujian Atterberg Limit, Alat pengujian Standard Proctor, alat pengujian swelling potensial dan peralatan lainnya yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau.

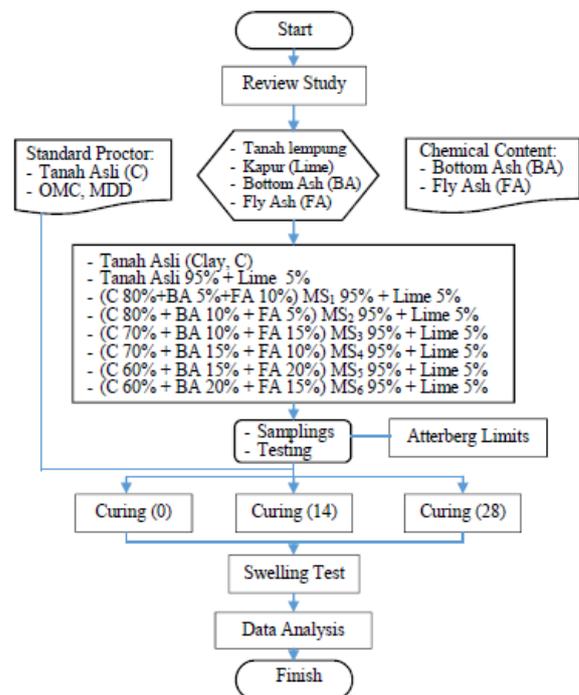
C. Pengujian

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data-data mengenai sifat properties dan mekanis benda uji:

1. Pengujian Atterberg Limit
2. Pengujian Pemadatan Tanah (Proctor Test)
3. Pengujian Swelling Potensial

D. Bagan Alir Pengujian

Pembuatan campuran benda uji dilakukan pada saat akan melakukan setiap pengujian pada tanah campuran. Campuran benda uji dibuat pada kondisi benda uji yang sudah kering (kadar air 0%). Perencanaan campuran tanah, kapur, fly ash, dan bottom ash sebagai sampel untuk pengujian CBR dilakukan dengan menggunakan air pada kadar air optimum tanah asli. Untuk persentase kapur dikunci sebesar 5% dan variasi campuran bottom ash + fly ash 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat kering tanah pada masing-masing campuran (**Gambar-1**).



Gambar-1. Diagram Alir penelitian.

Untuk mempermudah penamaan sampel dan perlakuan yang digunakan dalam penelitian. Maka diberi kode pada tiap sampel uji dan perlakuan terhadap sampel uji. Penamaan sampel uji dapat dilihat pada **Tabel-3**.

Tabel-3. Kode sampel dan perlakuan

Sampel	Kode	Perlakuan	Kode
Tanah asli	S ₀	S 80% + BA 5% + FA	MS ₁
		10%	95%
Lime (Kapur)	L	S 80% + BA 10% + FA	MS ₂
		5%	95%
Bottom Ash	BA	S 70% + BA 10% + FA	MS ₃
		15%	95%
Fly Ash	FA	S 70% + BA 15% + FA	MS ₄
		10%	95%
Mixed Soil	MS	S 60% + BA 15% + FA	MS ₅
		20%	95%
		S 60% + BA 20% + FA	MS ₆
		15%	95%

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

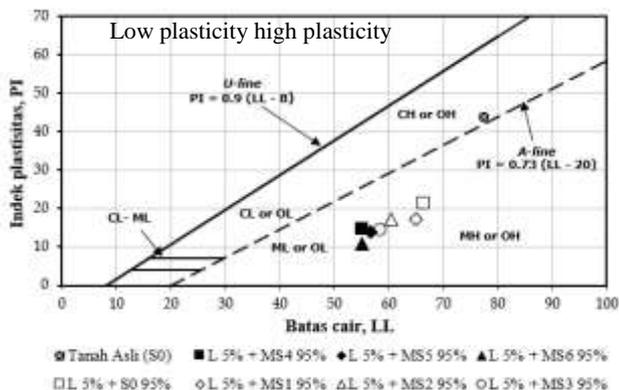
A. Pengujian Batas-Batas Konsistensi

Hasil dari pengujian Atterberg limit tanah asli dan tanah campuran dapat dilihat pada Tabel-3.

Tabel-3. Hasil uji batas konsistensi

No.	Jenis sampel	Nilai Atterberg (%)		
		LL	PL	PI
1	Tanah asli (S ₀)	77,51	33,77	43,74
2	L 5% + S ₀ 95%	66,41	45,13	21,28
3	L 5% + MS ₁ 95%	64,90	47,78	17,12

4	L 5% + MS ₂ 95%	60,35	43,15	17,21
5	L 5% + MS ₃ 95%	58,41	44,00	14,41
6	L 5% + MS ₄ 95%	54,99	40,14	14,85
7	L 5% + MS ₅ 95%	56,70	42,73	13,97
8	L 5% + MS ₆ 95%	55,17	44,36	10,81



Gambar-2. Hasil batas konsistensi.

Dapat dilihat pada Gambar-2 bahwa tanah asli yang merupakan tanah lempung plastisitas tinggi (*high plasticity clay*, CH), jika dicampurkan dengan bahan aditif menyebabkan nilai indeks plastisitas menurun dan tanah tersebut berubah menjadi tanah lanau dengan plastisitas tinggi (*high plasticity silt*, MH).

B. Pengujian Kimia pada Fly Ash dan Bottom Ash

Pengujian kimia bertujuan untuk mengetahui kadar mineral-mineral yang terdapat pada fly ash dan bottom ash. Hasil pengujian kimia ditunjukkan pada Tabel-4.

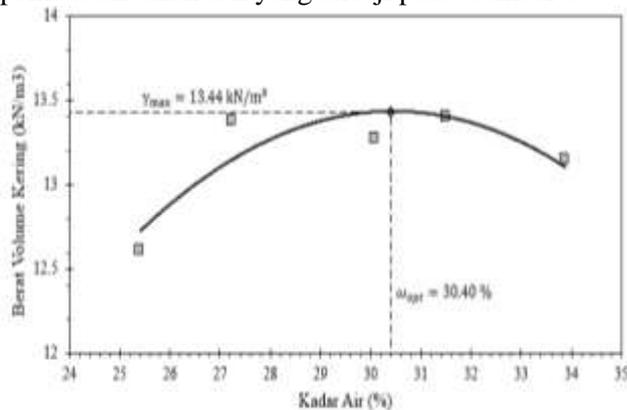
Tabel-4. Data hasil uji fly ash dan bottom ash

Parameter	Satuan	Fly	Bottom
		Ash	Ash
Silicon Dioxide (SiO ₂)	%	38,84	58,64
Aluminums Trioxide (Al ₂ O ₃)	%	22,27	20,41
Iron Trioxide (Fe ₂ O ₃)	%	12,13	3,97
Calcium Oxide (CaO)	%	14,31	9,19
Unsur lain	%	12,45	7,79

Berdasarkan Tabel-4 hasil pengujian Fly Ash dan Bottom Ash di Laboratorium Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau menunjukkan bahwa kadar SiO₂ (silika) + Al₂O₃ (alumina) + Fe₂O lebih dari 70% yaitu 73,24%. Dalam hal ini menyatakan bahwa abu terbang yang berasal dari PT. PLTU Tenayan Raya adalah kelas F berdasarkan ASTM C 618-05.

C. Pengujian Pemadatan Tanah Asli

Pengujian pemadatan dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar air optimum (*optimum moisture content*) yang digunakan untuk pembuatan sampel uji swelling. Dari pengujian didapat hasil pemadatan tanah asli yang tersaji pada Gambar-3.



Gambar-3. Kurva hubungan pemadatan terhadap berat volume tanah.

Berdasarkan Gambar-3 dengan menggunakan *standard proctor*, didapat nilai kadar air optimum (*OMC*) sebesar 30,40 % dan kepadatan kering maksimum (*MDD*) sebesar 13,44 kN/m³.

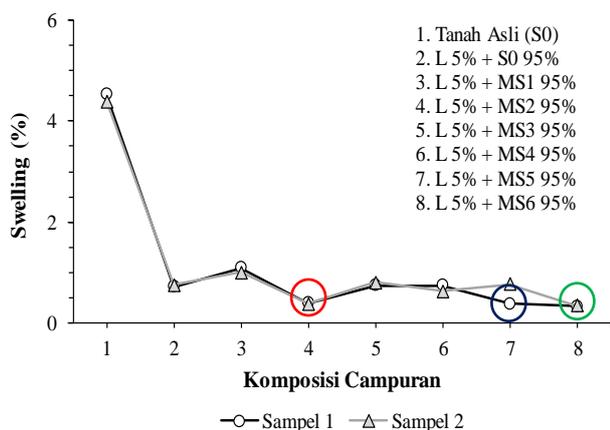
D. Pengujian Swelling (pengembangan)

Pengujian pengembangan (*swelling*) terhadap sampel tanah asli dan tanah campuran bertujuan untuk mengetahui seberapa besar persentase pengembangan sampel tanah saat terendam air selama 4 hari (96 jam). Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel-5.

Tabel-5. Hasil pengujian swelling

Deskripsi Campuran	Δh (%) Sampel		Rerata Δh (%)
	1	2	
Tanah asli (S ₀)	4,522	4,393	4,457
L 5% + S ₀ 95%	0,709	0,748	0,729
L 5% + MS ₁ 95%	1,092	0,997	1,044
L 5% + MS ₂ 95%	0,387	0,378	0,383
L 5% + MS ₃ 95%	0,739	0,804	0,772
L 5% + MS ₄ 95%	0,739	0,628	0,683
L 5% + MS ₅ 95%	0,378	0,763	0,571
L 5% + MS ₆ 95%	0,327	0,335	0,331

Jika dilihat dari Tabel-5 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin banyak zat *additive* ditambahkan dalam sampel tanah asli maka nilai *swelling* semakin kecil.



Gambar-4. Pengaruh komposisi campuran terhadap nilai swelling.

Stabilisasi yang menggunakan bahan tambah berupa kapur (5%), serta variasi kandungan *fly ash* dan *bottom ash* dapat menurunkan nilai *swelling* pada tanah asli dengan kondisi tanpa pemeraman (*curing*). Dari Gambar-4 dapat dilihat nilai terendah terjadi pada sampel L 5% + MS₆ 95% dengan nilai *swelling* sebesar 0,331%, nilai tersebut turun sebesar 93% dari tanah asli yang memiliki nilai sebesar 4,457%. Hal tersebut terjadi dikarenakan terjadi reaksi *pozzolanic* yang ditimbulkan oleh bahan *additive* yang membuat ikatan antar butiran menjadi kuat sehingga penyerapan air pada sampel tersebut semakin kecil [16]. Jumlah campuran FABA (*fly ash-bottom ash*) yang efektif dalam mengurangi *swelling* sebesar 15% (FA 5% dan BA 10%) dengan nilai *swelling* sebesar 0,383%

E. Pengaruh Pemeraman terhadap Nilai Pengembangan (Swelling)

Hasil pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai pengembangan ditampilkan pada Tabel-6.

Tabel-6. Pengaruh pemeraman terhadap nilai pengembangan (*swelling*)

Deskripsi	Curing (day)	Δh (%) Sampel		Mean (%)
		1	2	
Tanah asli (S ₀)	0	4,522	4,393	4,457
	14	3,808	3,562	3,685
	28	1,891	1,302	1,597
L 5% + S ₀ 95%	0	0,709	0,748	0,729
	14	0,113	0,125	0,119
	28	0,142	0,133	0,138
L 5% + MS ₁ 95%	0	1,092	0,997	1,044
	14	0,090	0,090	0,090

Deskripsi	Curing (day)	Δh (%) Sampel		Mean (%)
		1	2	
L 5% + MS ₂ 95%	28	0,099	0,099	0,099
	0	0,387	0,378	0,383
	14	0,096	0,095	0,095
L 5% + MS ₃ 95%	28	0,112	0,105	0,108
	0	0,739	0,804	0,772
	14	0,110	0,112	0,111
L 5% + MS ₄ 95%	28	0,086	0,086	0,086
	0	0,739	0,628	0,683
	14	0,096	0,133	0,115
L 5% + MS ₅ 95%	28	0,095	0,099	0,097
	0	0,378	0,763	0,571
	14	0,103	0,102	0,103
L 5% + MS ₆ 95%	28	0,086	0,086	0,086
	0	0,327	0,335	0,331
	14	0,090	0,101	0,096
	28	0,086	0,086	0,086

Berdasarkan Tabel-6, secara umum, penambahan kapur dan FABA (*fly ash+bottom ash*) akan mengurangi *swelling potential* lempung. *Swelling potential* dengan nilai tertinggi terjadi pada lempung asli yaitu sebesar 4,457%, 3,685%, dan 1,597% berturut-turut pada kondisi tanpa pemeraman, pemeraman 14 hari, dan pemeraman 28 hari. Pada kondisi lempung tanpa penambahan aditif (*lime* dan FABA), lama waktu pemeraman berpengaruh pada berkurangnya kandungan air dalam tanah. Semakin lama diperam, tanah akan semakin banyak kehilangan air meskipun kelembaban udara dijaga selama waktu pemeraman. Sifat lempung yang elastis-plastis (*semi-plastis*) serta ukuran butir yang dan kedap air, maka kemampuan tanah untuk menyerap air dan mengembang lagimembutuhkan waktu lama dan menurun. Kondisi tanpa dimodifikasi pada sampel tanah asli tersebut. Nilai *swelling* pada lempung tanpa pemeraman dikategorikan dalam kategori *high* (4-7%), menurun menjadi *medium* (2-4%) setelah diperam 14 hari dan menjadi rendah (<2%) setelah diperam selama 28 hari. Secara umum tanah yang memiliki sifat plastisitas tinggi memiliki permeabilitas yang rendah, maka sampel yang dilakukan kondisi pemeraman (14 dan 28 hari) kandungan air berkurang dibandingkan dengan sampel tanpa pemeraman (0 hari), pada kondisi direndam, air belum masuk masuk

ke dalam pori-pori tanah secara menyeluruh sehingga tanah belum mengembang secara penuh, maka dengan ini kondisi *swelling potential* belum maksimal.

Kapur membutuhkan waktu (*setting time*) untuk beraksi dengan mineral lempung dan sifatnya cenderung mengikat air. Stabilisasi dengan kapur, penambahan kapur akan menurunkan *swelling potential* pada satu sisi, sisi lainnya selama pemeraman air yang berada pada udara bebas akan diikat oleh kapur sehingga meningkatkan kandungan air (kadar air naik). Hal ini yang membuat *swelling potential* sampel yang diperam 28 hari lebih tinggi dari pemeraman 14 hari.

Penambahan aditif (*lime* and FABA) pada sampel akan menurunkan *swelling potential*, baik dengan maupun tanpa pemeraman. Besar penurunan nilai *swelling* juga dipengaruhi oleh kadar dan komposisi FABA serta kandungan kapur. Pada sampel dengan tambahan aditif lempung dan FABA tanpa pemeraman, mineral kapur belum bereaksi secara sempurna dengan mineral lempung, sehingga variasi nilai *swelling* dominan dipengaruhi oleh kadar dan komposisi FABA. Semakin besar kandungan FABA,

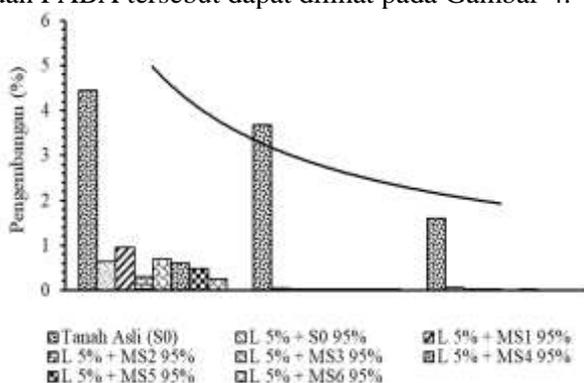
swelling potential menjadi turun. *Swelling potential* untuk kandungan FABA 15%, 25%, dan 35% berturut-turut adalah sebesar 1,044% dan 0,383%, 0,772% dan 0,683%, serta 0,571% dan 0,331%. komposisi FABA dalam campuran juga menentukan perilaku kapur dalam mengikat air, seperti ditunjukkan dalam Tabel-7.

Pada penambahan kapur 5%, tanpa penambahan FABA, *swelling potential* yang terjadi pada pemeraman 14 hari sebesar 0,119% meningkat menjadi 0,138% setelah diperam selama 28 hari. Sifat kapur yang menyerap air bisa dikurangi atau dihilangkan dengan menambahkan *fly ash bottom ash*. Kandungan FABA dengan komposisi *fly ash* yang lebih banyak dari *bottom ash* lebih baik dalam menurunkan daya serap kapur dan menurunkan *swelling potential* sampel. Sampel dengan jumlah FABA 25% misalnya, pada kandungan *fly ash* 15% menurunkan *swelling potential* dari pemeraman 14 hari ke 28 hari dari 0,111% menjadi 0,086%. sementara untuk kadar *fly ash* 10% dalam FABA menurunkan *swelling potential* dari 0,115% menjadi 0,097%.

Tabel-7. Kandungan *fly ash* dan *bottom ash* dalam FABA.

FA-BA	15%			25%			35%		
Curing (hari)	0	14	28	0	14	28	0	14	28
Lime									
5%	0,729	0,119	0,138	-	-	-	-	-	-
Fly Ash									
5%	0,383	0,095	0,108	-	-	-	-	-	-
10%	1,044	0,090	0,099	0,683	0,115	0,097	-	-	-
15%	-	-	-	0,772	0,111	0,086	0,331	0,096	0,086
20%	-	-	-	-	-	-	0,571	0,103	0,086
Bottom Ash									
5%	1,044	0,090	0,099	-	-	-	-	-	-
10%	0,383	0,095	0,108	0,772	0,111	0,086	-	-	-
15%	-	-	-	0,683	0,115	0,097	0,571	0,103	0,086
20%	-	-	-	-	-	-	0,331	0,096	0,086

Grafik pengujian kombinasi aditif berupa kapur dan FABA tersebut dapat dilihat pada Gambar-4.



Gambar-4. Persentase *swelling* akibat pemeraman.

Gambar-4 merupakan persentase *swelling potential* dari setiap variasi campuran. Jika dilihat dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan campuran dan semakin lama proses pemeraman pada tanah lempung plastisitas tinggi maka nilai *swelling potential* pada tanah menjadi rendah. Hal tersebut disebabkan penambahan campuran zat aditif dan air dapat mengikat partikel dan menutupi pori-pori tanah, kondisi ini dapat menyebabkan kemampuan tanah untuk menyerap air dapat berkurang [17]. Untuk kondisi optimum potensi pengembangan terjadi pada variasi campuran L 5% + MS₃ 95%, dimana pada campuran tersebut potensi pengembangan sangat kecil dibandingkan dengan tanah asli dan tanah

campuran lainnya. Dapat dilihat dari kondisi pemeraman 28 hari penurunan yang terjadi sebesar 98% dibanding tanah asli yang tidak diberi perlakuan. Jadi, dapat disimpulkan dengan memberi campuran bahan aditif dan diberi pemeraman dapat memperbaiki tanah asli dan dapat memperkecil nilai *swelling potential*. Yang berarti merubah dari tanah lempung yang nilai *swelling* tinggi menjadi tanah yang mempunyai nilai *swelling* rendah.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Stabilisasi lempung plastisitas tinggi dengan bahan tambah kapur perlu memperhatikan kemungkinan terjadi *swelling* selama pemeraman dan penjenruhan yang berpotensi mengurangi kuat geser tanah.
2. Stabilisasi lempung plastisitas tinggi dengan kapur maupun semen, terjadi perbedaan nilai UCS dan CBR yang tinggi antara kondisi rendaman (*soaked*) dan tidak rendaman (*unsoaked*) dikarenakan tinggi *swelling* pada tanah yang menurunkan kuat geser dan kekuatan tanah.
3. Perbedaan kuat geser dan daya dukung lempung dengan dan tanpa perendaman bisa diatasi dengan menambahkan *fly ash* dan *bottom ash*.
4. Penambahan kapur dan FABA terbukti mengurangi *swelling*. Waktu pemeraman berbanding lurus dengan penurunan *swelling*.
5. Pada kandungan FABA sebesar 35%, perbedaan kadar *fly ash* dan *bottom ash* tidak mempengaruhi nilai *swelling* tanah. Kandungan *fly ash* maupun *bottom ash* sebesar 15% menghasilkan *swelling* sebesar 0,086%.
6. Kadar optimal campuran aditif yang menghasilkan *swelling* terkecil adalah pada komposisi 5% kapur+15% *fly ash*+10% *bottom ash*.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Diperlukan jumlah variasi campuran untuk dipergunakan dalam penambahan kadar aditif sehingga didapatkan lebih banyak variasi data yang dapat membantu penelitian berikutnya mendapatkan hasil pengujian yang lebih baik.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian yang lebih lama terhadap potensi

pengembangan serta penggunaan FABA untuk mortar [22], bata ringan (*brick*), batako (*masonry*)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hafizh, M. S. Al., 2017. “Stabilisasi Tanah Lempung dengan Pasir Berbagai Gradasi dan Campuran Kapur” [Skripsi] Pekanbaru: JTS Universitas Riau, JOM FTEKNIK 4(1), 1-9.
- [2] Nurdin, S., Samang, L., Patanduk, J., Harianto, T. 2016. “Kinerja Tanah Lunak Stabilisasi Fly Ash Dengan perkuatan Serat Alami sebagai Lapis Penutup Landfill”, INERSIA 8(2), 32-38
- [3] Beetham, P., Dijkstra, T., Dixon, N., Fleming, P., Hutchison, R., & Bateman, J., 2015. “Lime stabilisation for earthworks: A UK perspective”. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement, 168(2), 81-95. <https://doi.org/10.1680/grim.13.00030>.
- [4] Das, B. M., 1985. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) (1st ed.) Jakarta: Erlangga.
- [5] A, P. A., Iswan, & Jafri, M., 2016. “Pengaruh Variasi Waktu Pemeraman Terhadap Nilai Uji Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung dan Lanau yang Distabilisasi Menggunakan Kapur Pada Kondisi Rendaman”. Eksperimental, 4(2), 236-255.
- [6] Putra, M. D. H. (2017). Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif Dengan Metode Deep Soil Mixing Pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah Asli Terhadap Nilai CBR Dan Pengembangan.
- [7] Wiqoyah, Q., 2006. “Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan dan Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung”. Dinamika Teknik Sipil, 6(1), 16-24.
- [8] SNI 03-147-1996. Spesifikasi kapur untuk stabilisasi tanah, 2-4. Badan Standarisasi Nasional (BSN)
- [9] Wardani, S. P. R., 2008. “Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan”. [Pidato Pengukuhan Guru Besar]. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, 1-71.
- [10] Wijaya, O., 2018. “Pengaruh Penambahan Abu Dasar (Bottom Ash) Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Surabaya Barat Terhadap Nilai Potensial Swelling”. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, 1(1), 186-194.
- [11] Guyer, J. P., Asce, F., & Aei, F., 2011. “Introduction to Soil Stabilization in Pavements”, available in: www.cedengineering.com (877), 29-115
- [12] Huri, A. D., Yulianto, K., R W, S. P., & Hardiyati, S., 2013. “Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-Asam”, Jurnal Karya Teknik Sipil 2(1), 1-8.
- [13] Putra, M. D. H., 2017. “Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif Dengan Metode Deep Soil Mixing Pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah Asli Terhadap Nilai CBR Dan

- Pengembangan*“.[Skripsi] Malang: JTS Universitas Brawijaya.
- [14] SNI, 1744 : (2012). Metode uji CBR laboratorium, 1–28. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [15] Yuliet, R., 2011. “*Uji Potensi Mengembang Pada Tanah Lempung Dengan Metoda Free Swelling Test (Studi Kasus: Tanah Lempung Limau Manih Kota Padang)*“.*7(1)*,25–36.
<https://doi.org/10.25077/jrs.7.1.25-36.2011>
- [16] Tobing, B. C. L., 2011. “*Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% Fly Ash*“. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), 1–8.
- [17] Laras, A. W., Suryo, E. A., & Zaika, Y., 2017. “*Pengaruh Penambahan Kapur dengan Lamanya Waktu Perawatan (Curing) Terhadap Kekuatan Dan Pengembangan (Swelling) Tanah Lempung Ekspansif*“. *Mhsw Jur Teknik Sipil*, 1(1). Malang:JTS Universitas Brawijaya
- [18] Zulnasari, A., 2019. “*Karakteristik Tanah Lempung yang distabilisasi Menggunakan Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash terhadap Nilai Kuat Tekan Pengujian UCS*“ [Skripsi]. Pekanbaru: JTS Universitas Riau
- [19] Zega, L. M. R., 2019. “*Perbaikan Sifat Geoteknik Lempung Lunak akibat Penambahan Semen dan Limbah FABA*“ [Skripsi]. Pekanbaru: JTS Universitas Riau, *JOM FTEKNIK* 6(2)
- [20] Nugroho, S., A., Ningrum, P., Muhandi, 2020. “*Pemanfaatan Geopolimer Abu Terbang Sebagai Pozzolonic Tanah lempung untuk Material Tanah Dasar Perkerasan*”, *Fondasi* , 9(1), 77-86.
<http://dx.doi.org/10.36055/jft.v9i1.7366>
- [21] Kusuma, I., R., Mina, E., Supandi, 2016. “*Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas*“, *Jurnal Fondasi* 6(2), 24-33.
<https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft>
- [22] Sudiby, G., H., Haryanto, Y., Fatkhurrozak, 2008. “*Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Bata beton (Paving Block)*“, *Dinamika Rekayas* 4(2), 65-76.
<https://dx.doi.org/10.20884/1.dr.2008.4.2.115>