

PERUBAHAN NILAI CBR TERHADAP PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* PADA TANAH LEMPUNG

Soewignjo Agus Nugroho^{1*}, Ferry Fatnanta², M Khadafi Lembasi³

^{1,2}Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

³Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

ABSTRAK

Clay soil has a characteristic that is wet, it will be soft and plastic and cohesive. To overcome this problem, clay soil with high plasticity needs stabilization. The stabilization method using additives such as chalk, fly ash and bottom ash can be used as a stabilization material to increase the carrying capacity of high plasticity clay. This study is commended to know the behavior of high plasticity clay which is stabilized with lime, fly ash and bottom ash. Increased crease of the stabilized clay soil is seen from the CBR test. CBR testing is done under curing conditions for 0, 14, and 28 days and soaking for 0 and 4 days. The results showed that the CBR value increased with duration of curing and decreased throughout the duration of immersion. Then the CBR value increases with the addition of lime percentage and each mixture in a mixture variation. The highest CBR value occurred in soil L 5% + MS5 95% with a CBR value of 75.37% under conditions for 28 days of curing and 4 days of immersion. The lowest CBR value occurs in soil L 5% + MS2 95% with a CBR value of 12.85% in conditions without curing and without immersion.

Kata Kunci : Clay Soil, Stabilization, Fly Ash, Bottom Ash, CBR

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan dasar dari suatu konstruksi bangunan sipil yang berfungsi menerima dan menahan beban dari suatu struktur di atasnya. Pada tanah lempung terdapat dua masalah pokok. Pertama, masalah daya dukung tanah yang rendah. Kedua, masalah penurunan yang besar. Sifat tanah lempung yang lain, yang juga kurang menguntungkan adalah mempunyai kadar air yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan upaya perbaikan tanah melalui usaha stabilisasi tanah [1].

Stabilisasi tanah merupakan salah satu alternatif dalam perbaikan tanah untuk meningkatkan kepadatan dan daya dukung tanah. Umumnya, stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi dengan bahan-tambah (kimiawi). Stabilisasi dengan cara mekanis didasarkan atas usaha-usaha mekanis, seperti kompaksi dan kuat tekan bebas. Pada cara kimiawi, suatu bahan aditif berupa binders seperti semen, kapur, abu terbang (*fly ash*), abu dasar (*bottom ash*) dicampurkan dalam tanah kemudian akan

mengubah sifat fisis dan mekanis tanah [2].

Metode perbaikan tanah dengan kapur salah satu alternatif usaha perbaikan tanah yang tidak memenuhi standar sebagai lapisan tanah dasar untuk perkerasan atau fondasi bangunan. Kapur bereaksi dengan air tanah sehingga merubah sifat tanahnya, mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah. Pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* untuk memberikan kontribusi pada pemakaian material konstruksi jalan, pekerjaan tanah, campuran grouting maupun stabilisasi tanah [3].

Penelitian ini akan membahas pengaruh nilai CBR terhadap tanah asli dan tanah campuran kapur *fly ash* dan *bottom ash* terhadap pengaruh pemeraman dan rendaman. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan besaran nilai CBR tanah asli dan tanah campuran bahan adiktif akibat pemeraman dan rendaman.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung

Tanah lempung (*clay*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (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].

Menurut Hardianto (2002), menyatakan bahwa tanah lempung memiliki beberapa sifat antara lain:

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.

2.2 Kapur

Kapur merupakan salah satu material untuk pembangunan yang telah banyak dipakai oleh manusia. Sejak lama campuran lempung kapur telah banyak dipakai sebagai bahan bangunan. Di Amerika, sejak tahun 1920-an stabilisasi tanah dengan kapur telah dipakai untuk membangun jalan tanpa perkerasan, yaitu untuk mencegah terjadinya alur dan disintegrasi permukaan jalan selama musim hujan dan musim salju.

Kapur (*lime*) adalah bahan aditif yang efektif untuk tanah plastis, meningkatkan kemampuan kerja dan kekuatan. Ada banyak kesamaan antara bahan yang distabilkan dengan zat stabilisasi semen dan kapur. Kesamaan terletak pada komposisi yang sama, menghasilkan perilaku sebanding, memerlukan karakterisasi bahan yang serupa, prosedur desain struktural, dan pertimbangan konstruksi. Namun, perbedaan signifikan antara zat stabilisasi semen dengan kapur yang terletak pada sifat dan laju reaksi terhadap bahan yang

distabilkan [6].

2.3 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash merupakan bagian terbesar dari abu batu bara yang memiliki ukuran butiran yang halus dan menampakkan warna keabuabuan. Pemanfaatan *fly ash* ini untuk stabilisasi tanah adalah karena *fly ash* mempunyai sifat pozzolanik dan juga dapat mengurangi *shrinkage dan cracking* problem yang biasanya timbul pada penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah. Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), feri oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO). Juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon [3].

Berdasarkan ASTM 618-78 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas, yaitu:

- a. *Fly ash* kelas C ($\text{CaO} > 10\%$)

Merupakan *fly ash* yang diproduksi dari pembakaran subbituminous coal atau batubara lignite selain mempunyai sifat pozzolanik, *fly ash* ini juga memiliki sifat cementitious apabila bereaksi dengan air dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. *Fly ash* kelas C mengandung kalsium dalam kadar yang tinggi.

- b. *Fly ash* kelas F ($\text{CaO} < 10\%$)

Merupakan *fly ash* yang diproduksi dari bituminous coal. Pada *fly ash* kelas F ini untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan kapur atau semen. *Fly ash* kelas F ini kadar kalsiumnya rendah.

2.4 Abu Dasar (*Bottom Ash*)

Bottom ash (abu dasar) 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 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, dan mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil. Abu dasar dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya.

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 [8].

2.5 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. Menurut Suyono Sosrodarsono (1984), pada konstruksi jalan raya perbaikan tanah dasar merupakan stabilisasi tanah dangkal, hal ini memungkinkan digunakannya berbagai macam metode perbaikan, misalnya ditinjau dari segi teknik pencampuran. Metode perbaikan tanah yang lazim digunakan pada konstruksi jalan raya antara lain dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut:

1. Metode pencampuran terpusat: yaitu tanah tersebut dicampur dengan bahan stabilisasi pada suatu tempat, kemudian baru diangkat ke tempat pekerjaan. Kemudian dilakukan pemadatan, untuk itu diperlukan mesin pencampur.
2. Metode pencampuran dalam galian: yaitu bahan stabilisasi dicampur dengan tanah pada lubang galian tanah, kemudian diangkat ke tempat pekerjaan. Bahan stabilisasi dapat dipancarkan ke dalam tanah dalam bentuk tiang kemudian digali bersama-sama dan dicampur, atau bahan stabilisasi itu ditaburkan di atas tanah sehingga pada penggalian terjadi pencampuran.
3. Metode pencampuran di tempat pekerjaan: yaitu tanah dihamparkan di tempat pekerjaan, kemudian ditaburi bahan stabilisasi dan dicampur, atau tanah yang akan distabilisasikan itu digaruk dan dicampur dengan bahan stabilisasi.

2.6 California Bearing Ratio (CBR)

CBR pertama kali dikenalkan oleh California State Highway Departement pada tahun 1928. CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1"/0,2" dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1"/0,2". Harga CBR dinyatakan dalam bentuk persen. Jadi, CBR adalah nilai yang

menyatakan kualitas tanah dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang memiliki nilai CBR sebesar 100 %. Prinsip pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Ada beberapa Jenis pengujian CBR, antara lain sebagai berikut:

1. CBR lapangan (CBR *inplace* atau *field*)
2. CBR lapangan terendam (*field soaked* CBR)
3. CBR Laboratorium

CBR laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu CBR laboratorium terendam (soaked) dan CBR laboratorium tidak terendam (unsoaked):

- a. CBR laboratorium terendam (soaked) dilakukan perendaman selama 4 hari, perendaman ini bertujuan untuk membuat tanah menjadi jenuh air.
- b. CBR laboratorium tidak terendam (unsoaked) dilakukan langsung setelah tanah dipadatkan untuk pengujian.

Untuk mendapatkan nilai CBR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Beban dalam pengujian}}{\text{Beban standar}} \times 100\% \quad (1)$$

Kekuatan tanah diuji dengan uji CBR sesuai SNI-1744-1989. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya.

3. METODE PENELITIAN

Studi penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian karakteristik fisik dan mekanik. Pengujian karakteristik fisik meliputi uji batas konsistensi tanah dan untuk pengujian mekanis meliputi pengujian uji proktor, CBR (*California Bearing Ratio*) dan uji *swelling potensial*.

Pembuatan benda uji CBR dilakukan dengan kadar air optimum (OMC) pada tanah asli. Pengujian CBR dilakukan dengan 6 kondisi yaitu pemeraman selama 0, 14, dan 28 hari untuk sampel non rendaman dan selama 4 hari untuk sampel dengan rendaman.

Sebelum dilakukan penelitian, ada beberapa proses yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil diantaranya dimulai dengan studi literatur, survei lokasi pengambilan sampel, persiapan alat pengujian, persiapan

benda uji, hingga pengujian di laboratorium dan analisis data.

3.1 Persiapan Benda Uji

Pencampuran tanah asli dan tanah campuran (kapur, *fly ash*, dan *bottom ash*) dilakukan pada kadar air optimum tanah asli. Pembuatan benda uji dilakukan sebelum waktu ikatan awal antara tanah asli dengan bahan tambah. Dari campuran tanah dapat ditampilkan tabel jumlah sampel yang digunakan pada penelitian, sebagaimana **Tabel 1**.

Tabel 1. Penggunaan sampel pada pengujian

Variasi	Pemeraman (Hari)	Rendaman	
		0 Hari	4 Hari
Tanah Asli (S ₀)	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 5% + S ₀ 95%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 5% + MS ₁ 95%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 5% + MS ₂ 95%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 5% + MS ₃ 95%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 5% + MS ₄ 95%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 5% + MS ₅ 95%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
L 5% + MS ₆ 95%	0	2	2
	14	2	2
	28	2	2
Jumlah Sampel CBR		96	

Untuk mempermudah penamaan sampel dan perlakuan yang digunakan dalam penelitian. Maka diberi kode pada tiap sampel

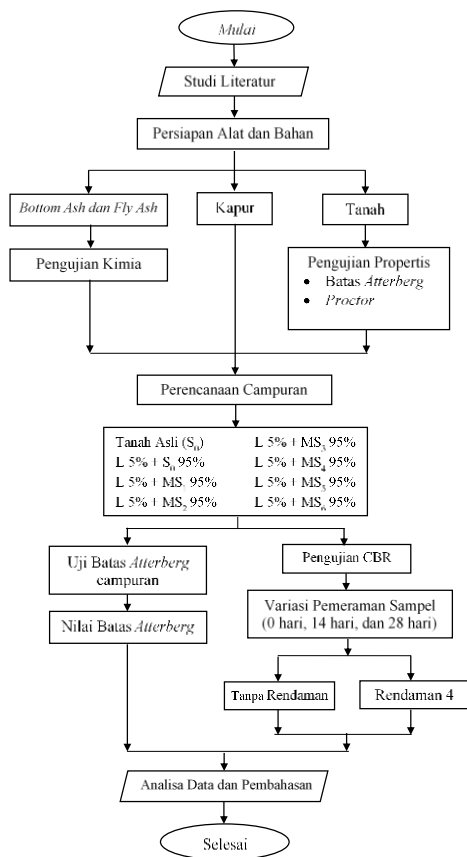
uji dan perlakuan terhadap sampel uji. Penamaan sampel uji dapat dilihat pada **Tabel 2** dibawah ini:

Tabel 2. Kode sampel dan perlakuan

Komposisi / Perlakuan	Kode
<i>Soil</i> (Tanah Asli)	S ₀
<i>Lime</i> (Kapur)	L
<i>Bottom Ash</i> (Abu Dasar)	BA
<i>Fly Ash</i> (Abu Terbang)	FA
<i>Mix Soil</i> (Campuran tanah)	MS
S 80% + BA 5% + FA 10%	MS ₁ 95%
S 80% + BA 10% + FA 5%	MS ₂ 95%
S 70% + BA 10% + FA 15%	MS ₃ 95%
S 70% + BA 15% + FA 10%	MS ₄ 95%
S 60% + BA 15% + FA 20%	MS ₅ 95%
S 60% + BA 20% + FA 15%	MS ₆ 95%

3.2 Bagan Alir Pengujian

Metodologi penelitian berisi langkah – langkah jalannya penelitian yang berawal dari studi literatur, persiapan sampel dilokasi penelitian, persiapan alat dan sampel benda uji, alat pengujian dan analisis data. Tahapan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1**.



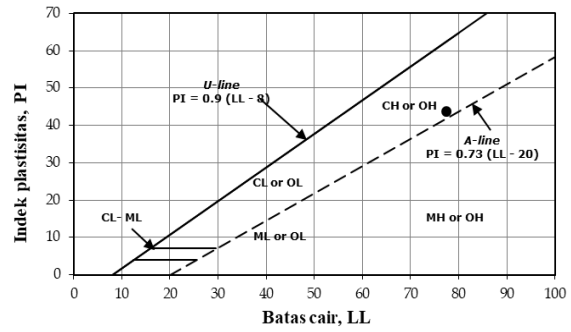
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data – data yang diperoleh dari penelitian berasal dari serangkaian pengujian yang dilaksanakan di laboratorium, kemudian disajikan secara sistematis dan jelas untuk dianalisis.

4.1 Pengujian Batas – Batas Konsistensi

Berdasarkan hasil pengujian batas konsistensi didapat hasil nilai batas cair tanah asli 77,51% dan nilai batas plastis 33,77%. Untuk nilai indeks plastisitas yang merupakan selisih dari batas cair dan batas plastis, didapat nilai sebesar 43,74%. Apabila data tersebut diplotkan kedalam grafik klasifikasi tanah maka tanah masuk kedalam kelompok tanah CH karena titik hasil pengujian terletak diatas garis A-line. Data dapat dilihat pada Gambar 2.

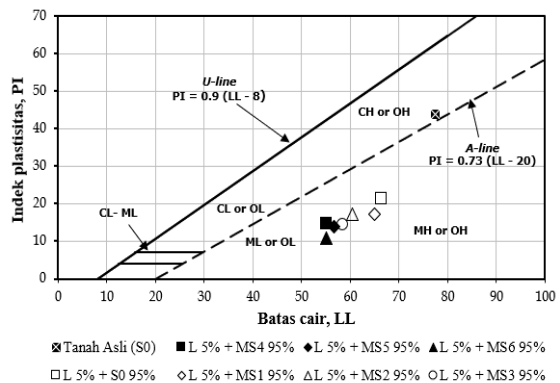


Gambar 2. Hasil batas konsistensi tanah asli

Tanah lempung tersebut diuji kembali batas konsistensinya dengan menambahkan bahan tambah kimia berupa kapur, fly ash, dan bottom ash. Pencampuran tanah asli dengan bahan adiktif bertujuan untuk melihat pengaruh terhadap nilai batas konsistensinya. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji batas konsistensi campuran

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

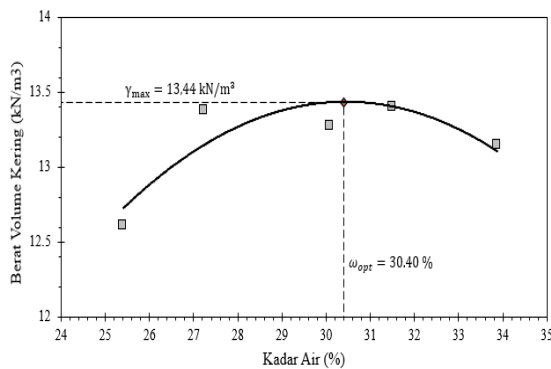


Gambar 3. Hasil batas konsistensi semua campuran

Dilihat dari **Gambar 3** bahwa tanah asli yang merupakan CH atau lempung plastisitas tinggi, jika dicampurkan dengan bahan tambah berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash* menyebabkan campuran tersebut berubah menjadi MH atau lanau plastisitas tinggi.

4.2 Hasil Pemadatan

Pengujian pemadatan dilakukan untuk menentukan nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) dan kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density*) pada tanah asli. Penentuan Kadar air optimum tersebut digunakan untuk pembuatan sampel CBR tanah asli dan tanah campuran.



Gambar 4. Kurva hasil pemadatan tanah asli

Berdasarkan **Gambar 4** dengan menggunakan *standar proctor*, didapat nilai kadar air optimum (*OMC*) sebesar 30,40 % dan kepadatan kering maksimum (*MDD*) sebesar 13,44 KN/m³.

4.3 Karakteristik Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Abu Dasar (*Bottom Ash*)

Karakteristik dari abu terbang (*Fly Ash*) dan Abu Dasar (*Bottom Ash*) yang di uji oleh Laboraturium Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau didapatkan hasil pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Data Hasil Uji Fly Ash dan Bottom Ash

Parameter	Satuan	<i>Fly Ash</i>	<i>Bottom Ash</i>
Silicone Dioxide (SiO ₂)	%	38,84	58,64

Parameter	Satuan	<i>Fly Ash</i>	<i>Bottom Ash</i>
Aluminium 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

Sumber: Hasil Pengujian Laboraturium Kimia, Fakultas Teknik, UR (2019)

Berdasarkan data hasil pengujian Laboraturium 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 Tenaya Raya adalah kelas F berdasarkan ASTM C 618-05.

4.4 Hasil Pengujian CBR

CBR bertujuan untuk menentukan kualitas relative tanah darat (subgrade), lapisan pondasi bawah (subbase) dan lapisan atas (base) dibandingkan dengan beban standar berupa batu pecah yang memiliki nilai CBR 100%.

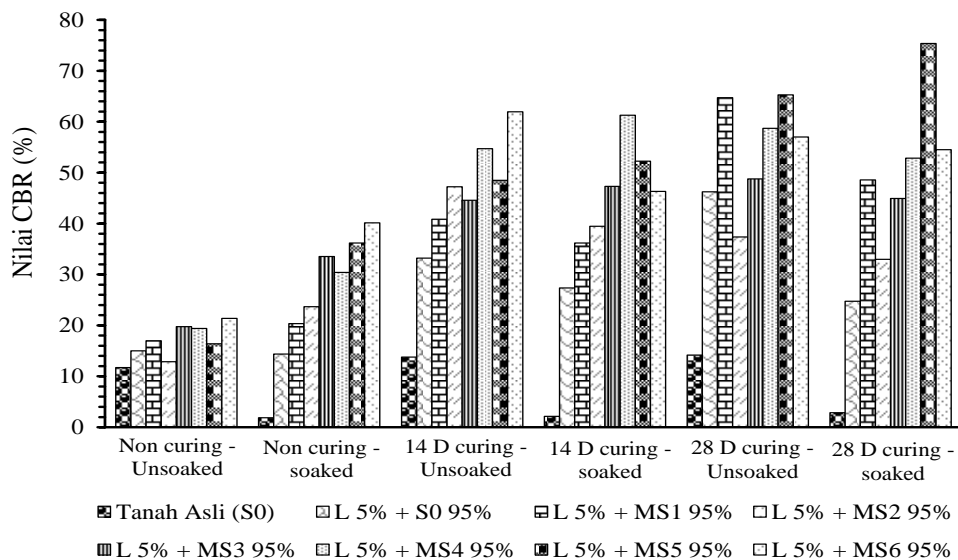
Pengujian CBR pada tanah asli dan berbagai variasi campuran. Pengujian CBR dilakukan dengan 6 perlakuan yang berbeda, diantaranya yaitu:

1. Tanpa pemeraman dan tidak direndam (non curing unsoaked).
2. Tanpa pemeraman dan direndam (non curing soaked),
3. 14 hari Pemeraman dan tidak direndam (14 day curing unsoaked),
4. 14 hari Pemeraman dan direndam (14 day curing soaked).
5. 28 hari Pemeraman dan tidak direndam (28 day curing unsoaked),
6. 28 hari Pemeraman dan direndam (28 day curing soaked).

Dibawah ini adalah hasil pengujian CBR dari setiap variasi yang ada. **Tabel 5** Merupakan hasil rata-rata dari dua sampel pada masing – masing variasi campuran

Tabel 5. Hasil uji batas konsistensi campuran

No.	Deskripsi Campuran	Nilai CBR %					
		Non Curing		Curing 14 Hari		Curing 28 Hari	
		Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked	Unsoaked	Soaked
1	Tanah Asli (S_0)	11.72	1.85	13.80	2.13	14.18	2.84
2	L 5% + S_0 95%	15.02	14.38	33.20	27.35	46.23	24.75
3	L 5% + MS_1 95%	16.97	20.33	40.84	36.17	64.71	48.56
4	L 5% + MS_2 95%	12.85	23.68	47.21	39.45	37.38	32.98
5	L 5% + MS_3 95%	19.77	33.51	44.59	47.32	48.78	44.92
6	L 5% + MS_4 95%	19.39	30.39	54.70	61.26	58.71	52.86
7	L 5% + MS_5 95%	16.37	36.18	48.51	52.27	65.29	75.37
8	L 5% + MS_6 95%	21.37	40.13	61.93	46.31	56.99	54.52



Gambar 5. Grafik hasil pengujian

Kondisi Tanpa Pemeraman dan Tidak Direndam

Pada perlakuan tanpa pemeraman dan tidak direndam dilakukan pada pengujian CBR langsung terhadap benda uji setelah dilakukan pengujian pemadatan. Pemadatan pada sampel CBR ini dilakukan pada kondisi *OMC* tanah asli. Hubungan antara penambahan zat adiktif pada berbagai variasi campuran terhadap nilai CBR pada kondisi tanpa pemeraman dan tanpa direndam dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan adiktif berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash*, nilai

CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan zat adiktif pada sampel CBR dan pada sebagian sampel CBR mengalami penurunan, penurunan nilai CBR terjadi pada campuran L5% + MS_2 95% dan L5% + MS_5 95%. Peningkatan tertinggi pada kondisi tanpa pemeraman dan tanpa direndam terjadi pada variasi campuran L5% + MS_6 95% dengan nilai rata-rata sebesar 21,37%. Nilai tersebut mengalami peningkatan dibandingkan dengan tanah asli nilai CBR sebesar 11,27%.

Kondisi Tanpa Pemeraman dan Direndam

Pada pengujian CBR untuk kondisi tanpa pemeraman dan direndam terlebih dahulu

benda uji dilakukan pemadatan. Pemadatan pada sampel CBR ini dilakukan pada kondisi *OMC* tanah asli. Setelah dilakukan pemadatan pada sampel CBR, kemudian benda uji tersebut direndam selama 4 hari setelah dilakukan perendaman selanjutnya dilakukan pengujian CBR. Hubungan antara penambahan zat adiktif pada berbagai variasi campuran terhadap nilai CBR pada kondisi tanpa pemeraman dan direndam dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan adiktif berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash*, nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan zat adiktif pada sampel CBR. Untuk nilai tertinggi terjadi pada kondisi L 5% + MS₆ 95% peningkatan pada variasi ini sebesar 21,7 kali lipat dibandingkam tanah asli tanpa adanya campuran.

Kondisi 14 Hari Pemeraman dan Tidak Direndam

Pada pengujian CBR untuk kondisi 14 hari pemeraman dan tidak direndam terlebih dahulu benda uji dilakukan pemadatan. Pemadatan pada sampel CBR ini dilakukan pada kondisi *OMC* tanah asli. Setelah dilakukan pemadatan pada sampel CBR, benda uji diperam selama 14 hari. Pemeraman tanah dilakukan dengan cara membungkus sampel CBR kedalam plastik dan diikiat. Kemudian sampel CBR dimasukkan kedalam kotak dan didiamkan selama 14 hari. Selanjutnya sampel tersebut dilakukan pengujian CBR. Hubungan antara penambahan zat adiktif pada berbagai variasi campuran terhadap nilai CBR pada kondisi 14 hari pemeraman dan tak terendam dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan adiktif berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash*, nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan zat adiktif pada sampel CBR dan pada sebagian sampel CBR mengalami penurunan, penurunan nilai CBR terjadi pada campuran L 5% + MS₅ 95%. Jika dilihat dari nilai tertinggi, nilai CBR terbesarnya terjadi pada varisai L 5% + MS₆ 95% dengan nilai 61,93% penikatan sebesar 4,5 kali dibandingkan tanah asli.

Kondisi 14 Hari Pemeraman dan Direndam

Pada pengujian CBR untuk kondisi 14 hari pemeraman dan direndam terlebih dahulu

benda uji dilakukan pemadatan. Pemadatan pada sampel CBR ini dilakukan pada kondisi *OMC* tanah asli. Setelah dilakukan pemadatan pada sampel CBR, benda uji diperam selama 14 hari. Setelah dilakukan pemeraman pada sampel CBR, selanjutnya dilakukan perendaman pada sampel CBR selama 4 hari. Selanjutnya sampel tersebut dilakukan pengujian CBR. Hubungan antara penambahan zat adiktif pada berbagai variasi campuran terhadap nilai CBR pada kondisi 14 hari pemeraman dan direndam dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan adiktif berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash*, nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan zat adiktif pada sampel CBR. Pada kondisi 14 hari pemeraman dan direndam campuran zat adiktif pada sampel CBR mengalami peningkatan tertinggi pada campuran L 5% + MS₄ 95%. Jika zat adiktif ditambah maka nilai CBR mengalami penurunan, penurunan tersebut terjadi pada campuran L 5% + MS₅ 95%. Peningkatan tertinggi pada kondisi 14 hari pemeraman dan direndam terjadi pada variasi campuran L5% + MS₄ 95% dengan nilai rata-rata sebesar 61,26%.

Kondisi 28 Hari Pemeraman dan Tidak Direndam

Pada pengujian CBR untuk kondisi 28 hari pemeraman dan tidak direndam terlebih dahulu benda uji dilakukan pemadatan. Pemadatan pada sampel CBR ini dilakukan pada kondisi *OMC* tanah asli. Setelah dilakukan pemadatan pada sampel CBR, benda uji diperam selama 28 hari. Selanjutnya sampel tersebut dilakukan pengujian CBR. Hubungan antara penambahan zat adiktif pada berbagai variasi campuran terhadap nilai CBR pada kondisi 28 hari pemeraman dan tak terendam dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan adiktif berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash*, nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan zat adiktif pada sampel CBR dan pada sebagian sampel CBR mengalami penurunan, penurunan nilai CBR terjadi pada campuran L 5% + MS₆ 95%. Peningkatan tertinggi pada kondisi 28 hari pemeraman dan tidak direndam terjadi pada variasi campuran

L5% + MS₅ 95% dengan nilai rata-rata sebesar 65,29%.

Kondisi 28 Hari Pemeraman dan Direndam

Pada pengujian CBR untuk kondisi 28 hari pemeraman dan direndam terlebih dahulu benda uji dilakukan pemadatan. Pemadatan pada sampel CBR ini dilakukan pada kondisi *OMC* tanah asli. Setelah dilakukan pemadatan pada sampel CBR, benda uji diperam selama 28 hari. Setelah dilakukan pemeraman pada sampel CBR, selanjutnya dilakukan perendaman pada sampel CBR selama 4 hari. Selanjutnya sampel tersebut dilakukan pengujian CBR. Hubungan antara penambahan zat adiktif pada berbagai variasi campuran terhadap nilai CBR pada kondisi 28 hari pemeraman dan direndam dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa dengan penambahan bahan adiktif berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash*, nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan zat adiktif pada sampel CBR dan pada sebagian sampel CBR mengalami penurunan, penurunan nilai CBR terjadi pada campuran L 5% + MS₆ 95%. Peningkatan tertinggi pada variasi campuran L 5% + MS₅ 95% dengan nilai CBR rata – rata sebesar 75,37 % nilai tersebut meningkat 26.5 kali lebih besar dibandingkan dengan tanah asli yang mempunyai nilai CBR rata- rata sebesar 2,84 %.

4.5 Pengaruh Penambahan Zat adiktif Terhadap Nilai CBR

Berdasarkan **Gambar 5** dilihat pengaruh penambahan kadar zat adiktif kedalam sampel CBR. Hasil **Gambar 5** dapat disimpulkan bahwa pada pengujian campuran tanpa pemeraman dan perendaman menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang langsung di uji (tanpa pemeraman dan tanpa perendaman). Kemudian untuk sampel yang yang dilakukan proses 14, 28 hari pemeraman dan perendaman sebagian sampel mengalami hasil yang sama pada pengujian tanpa pemeraman dan rendaman. Hal ini kemungkinan terjadi pada waktu proses perendaman 4 hari sampel mengalami proses pengikatan lanjutan pada zat additive sewaktu perendaman dan memberikan nilai daya dukung lebih pada kondisi pemeraman dan rendaman.

Kemudian sampel CBR menunjukkan trend yang positif seiring ditambahkan zat additive pada campuran, untuk peningkatan terbesar pada campuran L 5% + MS₅ 95% dengan kondisi 28 hari pemeraman dan perendaman dengan nilai CBR sebesar 75,37%. Peningkatan tersebut dapat mempengaruhi dari nilai daya dukung pada tanah asli yang semula rendah menjadi tinggi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan tersebut diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan bahan additive berupa kapur, *fly ash*, dan *bottom ash* dapat meningkatkan nilai CBR, peningkatan terbesar pada campuran L 5% + MS₅ 95% dengan kondisi 28 hari pemeraman dan perendaman dengan nilai sebesar 75,37% dan nilai terendah dalam pengujian pada campuran L 5% + MS₂ 95% dengan kondisi tanpa pemeraman dengan nilai CBR 12,85%.
2. Perilaku pemeraman dan perendaman dapat mempengaruhi nilai CBR secara umum akibat pengaruh dari penambahan kadar zat adiktif berupa kapur, *fly ash* dan *bottom ash*. Apabila kadar zat adiktif ditambah kedalam sampel, maka dapat meningkatkan nilai pada CBR campuran.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan saran yaitu diperlukan jumlah variasi campuran untuk dipergunakan dalam penambahan kadar *additive* sehingga didapatkan lebih banyak variasi data yang dapat membantu penelitian berikutnya mendapatkan hasil pengujian yang lebih baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. K, R. I., Mina, E., & Rahman, T., Stabilitas Tanah Dengan Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang), 2016 : 5(1).
- [2]. Harianto, T, Jurnal Studi Karakteristik Mekanis Tanah Menggunakan Fly Ash Sebagai Bahan. 2017
- [3]. Wardani, S. P. R, Pemanfaatan Limbah

- [4]. Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Pidato Pengukuhan Guru Besar*, 2008 : 1–71.
- [5]. Das, B. M, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) (1st ed.), 1985
- [6]. A, P. A., Iswan, & Jafri, M, 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), 2016 : 236–255.
- [7]. Hicks, R. G, Alaska Soil Stabilization Design Guide. *State of Alaska Department of Transportation and Public Facilities Research & Technology Transfer Fairbanks, AK 99709-5399*, 2002 : 1–64.
- [8]. Wijaya, O, Pengaruh Penambahan Abu Dasar (Bottom Ash) Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Surabaya Barat terhadap Nilai Potensial Swelling. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 2018 : 186–194.