

Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) Sebagai Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar (Studi Kasus : Karang Anyar, Lampung Selatan)

Erdina Tyagita Utami¹, Hermon Frederik Tambunan², Indi Rezki Uli Simanjuntak³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sumatera

utami.wood1911@gmail.com

Diterima redaksi: 5 Maret 2021 | Selesai revisi: 6 April 2021 | Diterbitkan *online*: 28 April 2021

ABSTRAK

Seluruh bangunan sipil berkaitan erat dengan tanah, karena tanah dapat digunakan sebagai bahan bangunan juga sebagai tempat bangunan dapat berdiri. Dalam membangun suatu jalan, tanah dasar merupakan bagian yang terpenting karena tanah dasar akan mendukung seluruh beban lalu lintas atau beban konstruksi dari atasnya. Dalam penelitian ini tanah dasar yang digunakan adalah jenis tanah lempung berplastisitas rendah yang berasal dari Karang Anyar, Lampung Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai daya dukung tanah CBR akibat pengaruh penambahan *fly ash*, dan pengaruh energi yang berasal dari tumbukan. Tanah berplastisitas rendah dicampur dengan *fly ash* dengan kadar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Variasi tumbukan yang dilakukan untuk pengujian CBR yaitu 10, 25, dan 56. Pengambilan data CBR menggunakan metode CBR tanpa rendaman dan rendaman. Proses CBR rendaman dilakukan dengan merendam sampel selama 4 hari sebelum diuji. Hasil yang diperoleh adalah terjadinya peningkatan nilai CBR pada setiap penambahan *fly ash*. Nilai tertinggi yang diperoleh pada pengujian CBR tanpa rendaman adalah 22,00% dan yang paling rendah 13,33%. Pada pengujian CBR rendaman diperoleh nilai tertinggi 3,73% dan terendah 1,33%.

Kata kunci: *Fly Ash*, CBR Tanpa Rendaman, CBR Rendaman, Tanah Berplastisitas Rendah, Tumbukan

ABSTRACT

All civil buildings are closely related to soil, because soil can be used as building material as well as a place where buildings can stand. In road construction, the subgrade itself is the most important part because it will support all traffic and construction loads. The soil that used for this research is clay with low plasticity soil originating from Karang Anyar, Lampung Selatan. This study aims to determine the CBR value due to adding fly ash, as well as the energy from the collision. Low plasticity clay soil mixed with fly ash with content of 0%, 10%, 20%, and 30%. Collision variations performing for CBR testing were 10, 25, and 56. Collecting the CBR data used the unsoaked CBR and soaked CBR method. The soaked CBR process was carried out by soaking the sample for 4 days before being tested. The results obtained an increasing in CBR value at each addition of fly ash content. the highest value obtained in the Unsoaked CBR test was 22.00% and the lowest was 13.33%. In the soaked CBR test, the highest value was 3.73% and the lowest was 1.33%.

Keywords: *Fly Ash, CBR Unsoaked, CBR Soaked, Low Plasticity Soil, Compaction*

1 Pendahuluan

Seluruh bangunan sipil berkaitan erat dengan tanah, karena tanah digunakan sebagai bahan bangunan juga sebagai tempat bangunan dapat berdiri. Dalam membangun suatu jalan, tanah dasar merupakan bagian yang terpenting untuk mendukung seluruh beban lalu lintas atau beban konstruksi yang ditempatkan di atasnya. Sifat masing-masing jenis tanah dipengaruhi

oleh tekstur, kadar air, kepadatan, dan kondisi lingkungan.

Perbaikan tanah biasanya dilakukan pada jenis tanah tertentu seperti tanah yang mengandung persentase air yang cukup tinggi, tanah lempung organik, atau jenis tanah lainnya yang dikategorikan sebagai tanah buruk atau kurang baik. Jika suatu perkerasan jalan dibangun di atasnya, maka beban pada perkerasan dan beban kendaraan akan memberikan beban yang

besar terhadap tanah yang akan menyebabkan terjadinya proses keluarnya air pori. Proses keluarnya air pori dapat menyebabkan bahaya karena diiringi penurunan tanah. Permasalahan lain yang muncul adalah stabilisasi, besar penurunan, dan faktor waktu pengaruh.

Proses stabilisasi tanah secara konvensional untuk saat ini belum mampu merubah sifat kembang susut tanah, sehingga suatu perkerasan jalan tersebut sudah dipadatkan, tetap mengalami kerusakan dikarenakan sifat-sifat buruk tanah dibawahnya masih ada. Dilihat dari perkembangan di lapangan, teknologi stabilisasi tanah telah mengalami peningkatan. Salah satunya adalah pencampuran tanah dengan bahan kimia. Salah satu campuran bahan kimia yang dapat meningkatkan mutu tanah adalah *fly ash*. Tanah yang bereaksi dengan *fly ash* akan merubah sifat tanahnya, mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah. Sifat ekspansif yang menyusut dan berkembang karena kondisi air tanah akan berkurang akibat campuran *fly ash*.

Tanah di Karang Anyar, Lampung Selatan merupakan tanah berjenis lempung dengan plastisitas rendah (CL). Penelitian yang dilakukan adalah stabilisasi tanah lempung berplastisitas rendah dengan menggunakan *fly ash* dengan kadar 0%, 10%, 20%, dan 30% sehingga diketahui peningkatan daya dukung CBR tanah dalam kondisi rendaman dan tanpa rendaman.

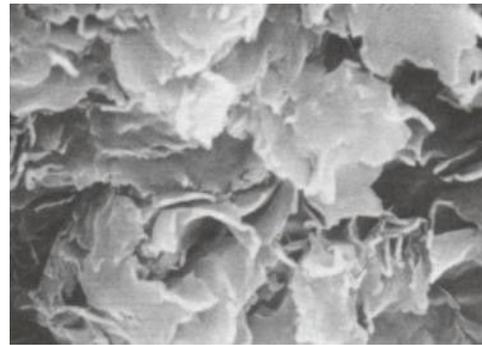
2 Tinjauan Pustaka

2.1 Tanah Lempung

Karakteristik tanah lempung sangat dipengaruhi oleh air, bentuk partikel tanah, sifat fisis, sifat mekanis, dan senyawa kimia yang menyusunnya. Berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah lempung memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 0,074 mm dan memiliki persentase lolos saringan no 200 minimal sebesar 50%. Untuk membedakan tanah lempung dengan tanah lanau dapat dilihat berdasarkan batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas masing-masing tanah.

Pengujian *Scanning Electron Microscop* (SEM) menunjukkan tanah lempung memiliki partikel tanah berbentuk lembaran. Tanah ini susah dipadatkan dan

perlu proses stabilisasi tanah. Proses stabilisasi tanah timbunan bisa dilakukan dengan mencampurkan tanah dengan bahan kimia dan kemudian dilakukan pemadatan tanah. Proses stabilisasi dengan bahan kimia bisa menggunakan material abu terbang.



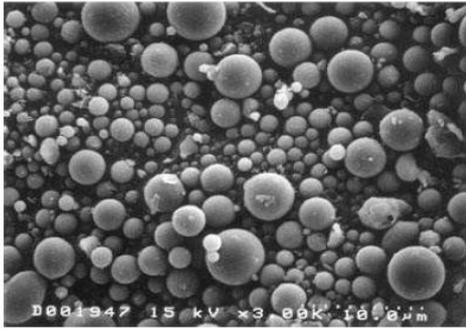
Gambar 1. Bentuk partikel tanah lempung berdasarkan hasil SEM

Sumber : Delage et al, 1996

2.2 Karakteristik Abu Terbang

Proses pembakaran batu bara pada PLTU menghasilkan limbah berupa limbah cair dan limbah padat. Limbah cair yang dihasilkan berupa antara lain *oily drain*, *aux drain*, *boiler cleaning*, *ash disposal area*, *coal pile storage area*, *boiler blowdown*, *FGD blow down*. Sedangkan material padat sisa pembakaran batu bara berupa abu terbang (*Fly Ash*) dan abu dasar (*Bottom Ash*). Pada saat pembakaran batu bara, abu terbang dihasilkan lebih banyak dibandingkan abu dasar yaitu sebesar 80-90% dari total abu.

Abu terbang mengandung senyawa silika (Si) sebesar 40-70% dari total beratnya dan memiliki berat jenis sebesar 2,2 - 2,5. Abu terbang memiliki ukuran lebih kecil dari 0,075 mm (lolos saringan no 100). Kebanyakan partikel abu terbang berbentuk *spherical*, yaitu sebagian besar partikel berbentuk seperti bola.



Gambar 2. Bentuk partikel abu terbang skala pembesaran 2000x

Sumber: Nugraha, 2007

Menurut ASTM C618 *Fly Ash* dibagi menjadi 2 kelas yaitu *Fly Ash* kelas F dan *Fly Ash* kelas C. Perbedaan utama dari kedua *Fly Ash* tersebut adalah banyaknya unsur kalsium, silika, aluminium, dan kadar besi dalam *ash*.

- *Fly Ash* kelas F merupakan *Fly Ash* yang diproduksi dari pembakaran batu bara *antrachite* atau *bituminous*, mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. *Fly Ash* kelas F memiliki kadar kapur yang rendah ($\text{CaO} < 10\%$).
- *Fly Ash* kelas C merupakan *Fly Ash* yang diproduksi dari pembakaran batu bara *lignite* atau *subbituminous* yang mempunyai sifat *pozzolanic* serta *self cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air tanpa penambahan kapur). *Fly Ash* kelas C biasanya memiliki kadar kapur ($\text{CaO} > 10\%$).

2.3 California Bearing Ratio

Metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah cara-cara empiris dan yang biasa dikenal adalah cara CBR (*California Bearing Ratio*). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* pada tahun 1929 sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). Uji CBR merupakan rasio antara tegangan satuan yang dibutuhkan untuk menghasilkan penetrasi pada kedalaman tertentu dari suatu piston

penetrasi dengan luas $19,4 \text{ cm}^2$ pada sample tanah yang telah dipadatkan pada kadar air dan kepadatan tertentu terhadap tegangan satuan standar yang dibutuhkan untuk mencapai penetrasi yang sama dari suatu sample batu pecah standar (*standard crushed stone*). Pengujian CBR di laboratorium bisa dilakukan dengan dua kondisi yaitu CBR rendaman (*soaked*) dan CBR tanpa rendaman (*unsoaked*).

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban. Tanah dasar pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang dipadatkan hingga mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan.

2.4 Stabilisasi Tanah dengan Abu Terbang

Menurut Bowles (1989) apabila tanah yang terdapat di lapangan bersifat lepas atau sangat mudah tertekan, atau mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas terlalu tinggi atau rendah, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan maka harus dilakukan stabilisasi tanah.

Banyak teknik dilakukan untuk menstabilisasi tanah yang kurang menguntungkan bagi pembangunan. Salah satunya dengan menambahkan senyawa kimia pada tanah. Namun dengan menambahkan langsung senyawa kimia pada tanah.

Indera K (2016) melakukan pengujian stabilisasi tanah lanau organik (OL) atau lanau berplastis rendah (ML) menggunakan abu terbang sebagai material stabilisasi tanah menemukan bahwa abu terbang menaikkan nilai batas plastis dan batas cair, serta adanya pengaruh nilai kuat tekan bebas. Nilai batas plastis adalah kadar air dimana suatu tanah berubah dari keadaan plastis ke keadaan semi plastis. Sedangkan, batas

cair adalah Keadaan air minimum saat tanah berubah dari keadaan plastis ke keadaan cair.

Mina (2016), meneliti tanah berbutir halus dengan klasifikasi tanah kelas CL yaitu tanah empung anorganik dengan plastisitas rendah diperoleh hasil pengujian CBR tertinggi terdapat pada benda uji dengan kadar *fly ash* sebesar 20%. CBR 0,1inch untuk kadar tersebut sebesar 37,2% dan CBR 0,2inch sebesar 38,6%

3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menganalisis perubahan karakteristik daya dukung CBR tanah lempung yang distabilisasi. Sampel tanah lempung berasal dari Provinsi Lampung. Abu terbang (*fly ash*) yang digunakan berasal dari sisa hasil pembakaran batu bara yang diperoleh dari PLTU Tarahan, Lampung Selatan.

Penelitian ini diawali dengan studi pustaka mengenai sifat fisis tanah lempung, metode-metode perbaikan tanah lempung, abu terbang, dan stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan abu terbang. Kemudian dilakukan pengambilan sampel tanah asli dan pengujian sifat-sifat fisis tanah (*specific gravity*, kadar air) batas Atterberg tanah, dan pengujian ukuran butiran tanah menggunakan pengujian hidrometer serta analisis saringan.

Dilakukan pengujian pemadatan tanah pada sampel tanah asli yang berguna untuk menentukan nilai kadar air optimum (OMC), dan Berat isi kering maksimum (MDD), serta jumlah air yang dibutuhkan untuk pembuatan sampel CBR. Pengujian pemadatan yang dilakukan sesuai dengan SNI 1742-2008 tentang uji kepadatan ringan. Untuk pengujian pemadatan ringan, spesifikasi alat dan cara pengujian harus sesuai dengan SNI 1742-2008. Setelah diperoleh jumlah air dilakukan *mix design* campuran tanah dan abu terbang dengan kadar abu terbang sebanyak 0, 10%, 20%, dan 30% dari berat tanah kering kondisi asli. Kemudian dilakukan pengujian CBR untuk masing-masing benda uji. Pengujian CBR yang dilakukan menggunakan tipe CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) dan rendaman (*soaked*). Proses CBR rendaman yaitu merendam benda uji di bak rendaman yang berisi air selama 4 hari guna mengetahui kondisi kritis

tanah dan potensi pengembangan tanah. Standar yang digunakan untuk pengujian CBR adalah SNI 1744:2012.

Sampel tanah terstabilisasi adalah sampel tanah asli yang dicampur dengan *fly ash* dan air optimum yang telah diuji pada uji pemadatan standar. Kadar pencampuran *fly ash* pada pengujian ini adalah 0%, 10%, 20 %, dan 30%. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi uji kadar air sebagai control terhadap air optimum, dan uji CBR tanpa rendaman dan uji CBR rendaman.

4 Analisis dan Pembahasan

4.1 Tanah Dasar

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium jenis tanah lempung yang merupakan tanah dasar di Karang Anyar, Lampung Selatan diklasifikasikan kedalam kelompok CL yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas rendah. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kadar air optimum (OMC) tanah lempung terganggu sebesar 20.32% dan berat isi kering maksimum (MDD) tanah asli sebesar 1,72 gr/cm³.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah Asli.

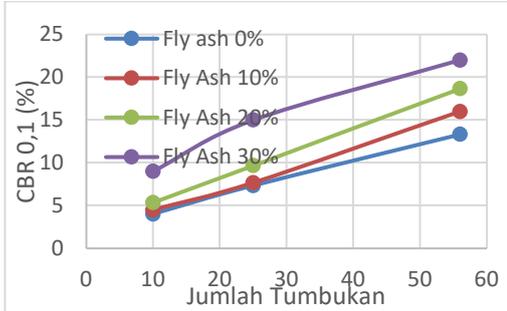
No	Pengujian	Hasil
1	Kadar Air (ω)	30,41 %
2	Berat Jenis (Gs)	2,41
3	Batas Atterberg:	
	Batas Cair (LL)	39,51 %
	Batas Plastis (PL)	25,27 %
	Indeks Plastis (PI)	14,24 %
4	Gradasi Lolos Saringan No. 200	91,25 %
5	Pemadatan:	
	a. Kadar Air Optimum (OMC)	20.35 %
	b. Berat Isi Kering Maksimum (MDD)	1,71 gr/cm ³

Sumber: Hasil Analisa, 2018

4.2 Hubungan Jumlah Tumbukan Terhadap CBR Tanah Terstabilisasi Fly Ash.

Pada pengujian ini, jumlah tumbukan

yang dilakukan yaitu 10 kali, 25 kali, 56 kali pukulan. Berikut disajikan pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai CBR dalam bentuk Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Hasil Pengujian CBR 0,1inch Kondisi Tanpa Rendaman Tiap Jumlah Tumbukan

Sumber: Hasil Analisa, 2018

Peningkatan daya dukung tanah terjadi saat jumlah tumbukan bertambah untuk tanah yang distabilisasi pada pengujian CBR tanpa rendaman (Gambar 3) dan non rendaman (Gambar 4). Nilai daya dukung tanah tertinggi terjadi ketika jumlah tumbukan mencapai 56 kali tumbukan untuk nilai CBR pada penetrasi 0,1” adalah 22,00% dan pada penetrasi 0,2” adalah 19,56%. Nilai CBR tanpa rendaman terendah terjadi pada penumbukan 10 kali yaitu 9,00% pada penetrasi 0,1” dan 8,67% pada penetrasi 0,2”.



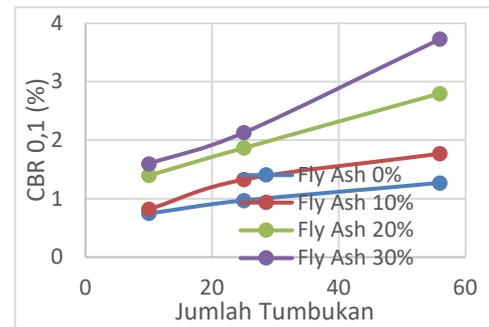
Gambar 4. Hasil Pengujian CBR 0,2inch Kondisi Tanpa Rendaman Tiap Jumlah Tumbukan

Sumber: Hasil Analisa, 2018

4.3 Kondisi Rendaman Tiap Jumlah Tumbukan

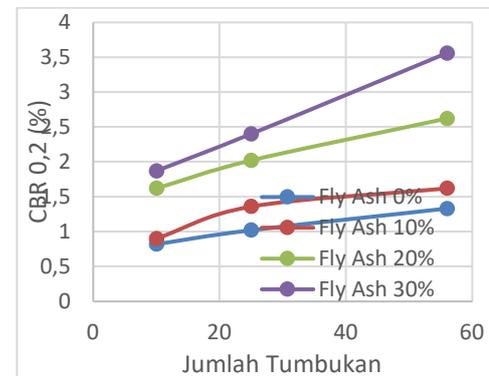
Peningkatan daya dukung juga terjadi saat jumlah tumbukan bertambah untuk tanah yang distabilisasi pada pengujian CBR rendaman (Gambar 5) dan non rendaman (Gambar 6). Nilai daya dukung tanah tertinggi terjadi ketika jumlah tumbukan

mencapai 56 kali tumbukan untuk nilai CBR pada penetrasi 0,1” adalah 3,73% dan pada penetrasi 0,2” adalah 3,56%. Nilai CBR 0,1 inch tanpa rendaman terendah terjadi pada penumbukan 10 kali yaitu 0,75% dan 0,82 % pada penetrasi 0,2”. Semakin kecil energi yang diberikan untuk memadatkan tanah, maka semakin besar pula nilai CBR yang didapatkan sehingga nilai daya dukung tanah akan semakin besar. Dalam hal ini energi terbesar didapatkan pada tumbukan 56 kali. Pengujian ini mendapatkan hasil maksimum pada tumbukan 56 kali dengan kepadatan yang baik, sehingga menghasilkan nilai CBR yang cukup baik dan berat volume yang baik juga. Pengaplikasian di lapangan juga disarankan untuk melakukan kepadatan yang paling maksimum untuk hasil yang maksimum.



Gambar 5. Hasil Pengujian CBR 0,1inch Kondisi Rendaman Tiap Jumlah Tumbukan

Sumber: Hasil Analisa, 2018

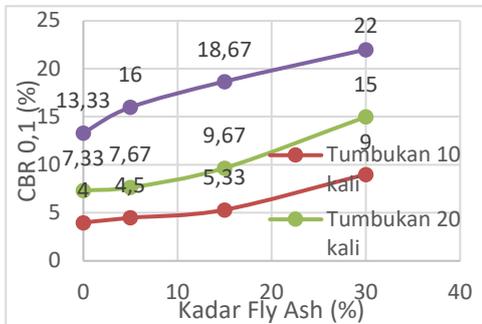


Gambar 6. Hasil Pengujian CBR 0,2inch Hubungan Kadar Fly Ash Terhadap CBR Tanah

Sumber: Hasil Analisa, 2018

Dengan kadar fly ash yang berbeda-beda maka nilai CBR yang didapat juga berbeda, semakin besar kadar fly ash yang

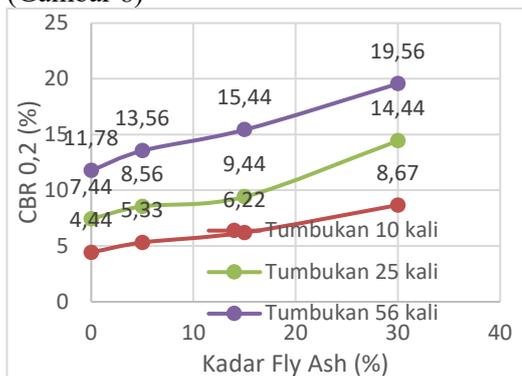
digunakan, maka nilai CBR nya juga semakin besar. Pengaruh kadar *fly ash* terhadap nilai CBR dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Hasil Pengujian CBR 0,1inch Kondisi tanpa Rendaman Tiap Kadar Fly Ash

Sumber: Hasil Analisa, 2018

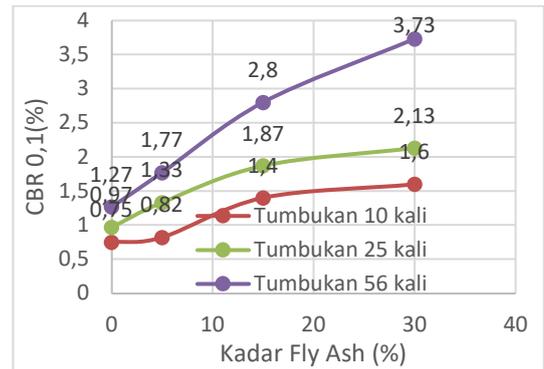
Semakin tinggi nilai kadar *fly ash* yang digunakan dalam pengujian CBR non rendaman, maka nilai CBR akan semakin tinggi. Nilai CBR yang tertinggi didapat pada kadar *fly ash* 30% dan penetrasi 0,2inch dengan penumbukan 56 kali per lapisan yaitu 22,00% (Gambar 7). Sedangkan nilai CBR terendah diperoleh pada hasil pengujian CBR rendaman tanah asli pada penetrasi 0,1inch menghasilkan nilai CBR yaitu 4% (Gambar 8)



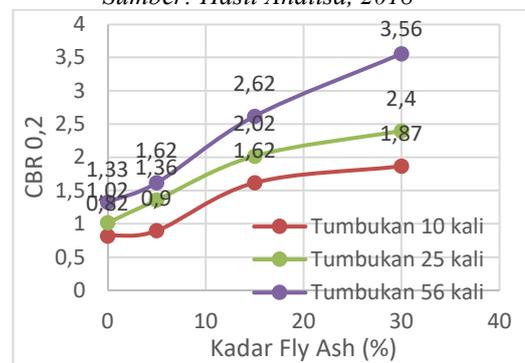
Gambar 8. Hasil Pengujian CBR 0,2inch Kondisi tanpa Rendaman Tiap Kadar Fly Ash

Sumber: Hasil Analisa, 2018

Pengaruh kadar *fly ash* pada pengujian CBR rendaman dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Hasil Pengujian CBR 0,1inch Kondisi Rendaman Tiap Kadar Fly Ash
Sumber: Hasil Analisa, 2018



Gambar 10. Hasil Pengujian CBR 0,2inch Kondisi Rendaman Tiap Kadar Fly Ash
Sumber: Hasil Analisa, 2018

Daya dukung tanah tertinggi dari hasil pengujian CBR yaitu 3,73% pada CBR 0,1inch dan tumbukan 56 kali dengan penambahan kadar *fly ash* sebanyak 30%. Penambahan kadar *fly ash* pada sampel tanah dasar menaikkan daya dukung tanah yang tidak signifikan.

4.4 Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap CBR Desain

Nilai CBR *design* diperoleh dari hasil CBR yang dilakukan pemadatan 10x tumbukan, 25x tumbukan, dan 56x tumbukan. Dari masing-masing sampel dengan 3 variasi tumbukan diperoleh nilai CBR dan nilai berat isi kering.

Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai CBR Desain tanpa rendaman dan rendaman terhadap penambahan kadar *fly ash*. Nilai yang diperoleh dari penambahan *fly ash* pada CBR tanpa rendaman menghasilkan peningkatan. Peningkatan nilai CBR terjadi cenderung linear seiring dengan penambahan *Fly Ash*. Nilai CBR desain paling tinggi yaitu 9%. Sedangkan pada saat proses

perendaman, nilai CBR yang diperoleh sangat kecil. Dengan penambahan *fly ash* tidak menghasilkan peningkatan yang signifikan.

Tabel 2. Hasil Pengujian CBR Design Tiap Kadar Campuran

Fly Ash	Nilai CBR Desain (%)	
	Tanpa Rendaman	Rendaman
0	7	1,33
10	7,44	1,77
20	8	2,4
30	9	2,85

Sumber: Hasil Analisa, 2018

5 Kesimpulan dan Saran

Adapun kesimpulan untuk penelitian stabilisasi tanah dengan menggunakan *fly ash* studi kasus Tanah Karang Anyar, Lampung Selatan adalah:

1. Varian kadar *fly ash* menghasilkan variasi hasil CBR. Dalam penelitian ini kadar *fly ash* meningkatkan nilai CBR rendaman dan tanpa rendaman.
2. Dengan melakukan beberapa jumlah tumbukan per lapisan maka tingkat kepadatan tanah akan berbeda. Semakin banyak jumlah tumbukan maka kepadatan tanah akan semakin padat sehingga mempengaruhi kekuatan tanah tersebut. Jumlah tumbukan yang paling berpengaruh meningkatkan kepadatan tanah dan nilai CBR adalah 56 kali tumbukan.
3. Penambahan kadar *fly ash* sebanyak 30% untuk memperbaiki tanah lempung CL dapat meningkatkan nilai CBR tanah. Nilai CBR tanah terbesar yaitu 22% pada kondisi CBR tanpa rendaman. Sedangkan, pada CBR dengan kondisi rendaman, nilai CBR tertinggi yaitu sebesar 3,73%.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu Melakukan variasi waktu pemeraman sampel. Hal ini diharapkan bisa melihat pengaruh waktu pemeraman sampel campuran tanah dan *fly ash* terhadap peningkatan daya dukung tanah.

6 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Simlitabmas yang memberikan hibah dengan skema Penelitian Kompetitif Nasional PDP pada tahun 2020 sehingga membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

7 Daftar Pustaka

- [1] Anggoro, Rio. "Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro Terhadap Nilai CBR dan Swelling." 2013
- [2] Indera K, Rama, dkk. 2016. "Stabilitas Tanah Dengan Menggunakan *Fly Ash* dan Pengaruhnya terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas." Jurnal Fondasi, vol. 5, no.1. 2016.
- [3] Mina, Eden, dkk. "Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Nilai CBR dan Sifat-Sifat Properties Tanah." Jurnal Fondasi, vol 5, no.2. 2016.
- [4] Bowles, Joseph. *Sifat-sifat fisis dan Geoteknik Tanah*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1989.
- [5] Das, Braja M dan Khaled Sobhan. *Principles of Geotechnical Engineering*, Edisi 8. America (USA): Cengage Learning. 2014.
- [6] Nugraha, P. Dan Antoni. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Jakarta: Penerbit Andi, 2007.
- [7] SNI 1965:2008 Cara Uji Penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium.
- [8] SNI 1964:2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah.
- [9] SNI 1966:2008 Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah.
- [10] SNI 1967:2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah
- [11] SNI 1742:2008, Metode pengujian tentang kepadatan ringan untuk tanah
- [12] SNI 1744: 2012, Metode Uji CBR Laboratorium