

Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar (*Subgrade*) dengan Menggunakan Campuran *Fly Ash*, *Bottom Ash* dan Silika

Silfa Nayyira Putri¹⁾

Andius Dasa Putra²⁾

Iswan²⁾

Aminudin Syah²⁾

Abstract

Soil or subgrade is the place where the construction made by technicians for personal and collective interests stands. Before starting a construction, soils that have low bearing capacity, water absorption and high plasticity can be stabilised by soil stabilisation methods. Soil stabilization may involve the use of chemical stabilization materials. This research aims to determine the effect and get the appropriate comparison of the results of the addition of a mixture of fly ash, bottom ash and silica. This research study was conducted using soil samples from Kalianda subdistrict and stabilization materials in the form of fly ash, bottom ash and silica matured for 24 hours. Tests were conducted at the Soil Mechanics Laboratory and physical and mechanical properties were tested.. Clay soils classified as A-7-5 (AASHTO) and OH (USCS) mixed with 4 different compositions of stabilising materials had different results. Of the 4 compositions, the mixture that has the largest bearing capacity value is only silica. Because the results of the CBR test on the mixture that added silica were greater than the mixture using only fly ash and bottom ash. Fly ash, bottom ash and silica gel are easily found or affordable, but the use of silica can increase costs due to its relatively expensive price, inversely proportional to the very affordable price of fly ash and bottom ash.

Key words : CBR, subgrade, fly ash, bottom ash, silica.

Abstrak

Tanah maupun tanah dasar merupakan tempat dimana berdirinya konstruksi yang dibuat oleh para teknisi untuk kepentingan pribadi maupun bersama. Sebelum memulai konstruksi, tanah yang memiliki daya dukung rendah, penyerapan air dan plastisitas tinggi dapat distabilkan dengan metode stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan menggunakan bahan stabilisasi berupa bahan kimia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan mendapatkan perbandingan yang sesuai dari hasil penambahan campuran fly ash, bottom ash dan silika. Studi penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel tanah berasal dari kec. Kalianda dan bahan stabilisasi berupa fly ash, bottom ash dan silika yang diperam selama 24 jam. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanis. Tanah lempung yang diklasifikasikan sebagai A-7-5 (AASHTO) dan OH (USCS) yang dicampur dengan 4 komposisi bahan stabilisasi yang berbeda memiliki hasil yang berbeda. Dari ke-4 komposisi tersebut, campuran yang memiliki nilai daya dukung terbesar pada campuran hanya silika. Karena hasil uji CBR pada campuran yang ditambahkan silika lebih besar dibandingkan dengan campuran hanya dengan menggunakan fly ash dan bottom ash. Fly ash, bottom ash dan silika gel mudah ditemukan atau terjangkau, namun penggunaan silika dapat meningkatkan biaya karena harganya yang relatif mahal.

Kata kunci : CBR, tanah dasar, abu terbang, abu dasar, silika.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Corresponding author : andius.dasaputra@eng.unila.ac.id

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Tanah merupakan lapisan paling atas dari permukaan bumi yang berasal dari material inti yang telah terproses dan perubahan alami yang dipengaruhi oleh air, udara dan beberapa organisme baik yang masih hidup maupun yang sudah mati. Ciri-ciri dan jenis yang dimiliki tanah berbeda dari lokasi satu dengan lokasi yang lain. Pada umumnya, air tidak terlalu mempengaruhi kelakuan tanah non kohesif (granuler). Sebaliknya, tanah yang memiliki butiran halus khususnya lempung sangat banyak dipengaruhi oleh air. Salah satu jenis tanah yaitu tanah lempung. Tanah lempung merupakan jenis tanah yang memiliki butiran yang sangat halus yang memiliki sifat-sifat kohesif dan plastisitas. Tidak hanya mempunyai sifat plastisitas dan kohesif, tanah lempung juga memiliki sifat kembang susut yang besar.

Sifat kembang susut juga sangat dipengaruhi oleh adanya kandungan air dan dapat mempengaruhi perubahan volume terhadap musim yang ada di Indonesia. Dampak yang disebabkan oleh sifat kembang susut ini adalah daya dukung tanah itu sendiri. Tanah maupun tanah dasar merupakan tempat dimana berdirinya konstruksi yang dibuat oleh para teknisi untuk kepentingan pribadi maupun bersama. Oleh sebab itu, bila tanah dasar sebagai pijakan dari konstruksi memiliki sifat kembang susut yang cukup besar maka daya dukung tanah tersebut harus sangat diperhatikan. Daya dukung tanah sendiri merupakan kemampuan tanah untuk memikul atau menahan beban yang bekerja baik beban tetap maupun beban berjalan. Salah satu cara untuk menguji daya dukung pada konstruksi jalan raya adalah dengan menggunakan metode *California Bearing Ratio* (CBR). Tanah maupun tanah dasar merupakan tempat dimana berdirinya konstruksi yang dibuat oleh para teknisi untuk kepentingan pribadi maupun bersama. Tanah dasar yang memiliki nilai CBR yang rendah dapat diperbaiki dengan metode stabilisasi.

Stabilisasi sendiri adalah suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dasar supaya daya dukung tanah yang semula rendah menjadi lebih baik sehingga tanah menjadi stabil dan mampu menerima. Bahan stabilan yang diperlukan untuk digunakan pada metode stabilisasi tanah dasar ini bersifat dapat mengikat mineral pada tanah dasar. Salah satu bahan kimia yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah dasar yaitu *fly ash* dan *bottom ash* yang merupakan partikel halus sisa hasil pembakaran batubara. Tidak hanya itu, silika juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilan pada stabilisasi tanah dasar karena mampu menyerap atau mengikat air. Pada penelitian ini membahas pengaruh penambahan *fly ash*, *bottom ash* dan silika dan perbandingan hasil komposisi campuran yang sesuai untuk digunakan pada daya dukung tanah dasar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung

Lempung dapat didefinisikan sebagai golongan yang mempunyai ukuran kurang dari 0,002 mm (Soewingjo N. A. 2022). Tanah lempung tidak juga terdiri dari partikel lempung saja dan dapat bercampur butir-butiran lanau maupun pasir. Ada beberapa kasus mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Lempung memiliki sifat yang lunak serta plastis dan kohesif. Lempung juga mengalami pengembangan dan penyusutan yang dapat dikatakan cepat sehingga menimbulkan perubahan volume yang besar (Das B. 1985).

2.2 Lapisan Tanah Dasar

Lapisan tanah dasar (*subgrade*) adalah bagian dari konstruksi jalan yang memiliki peran sebagai pondasi terhadap perkerasan jalan maupun bahu jalan. *Subgrade* menerima beban terakhir pada jalan sehingga harus memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban kendaraan di atasnya dan juga cukup perlu memiliki stabilitas terhadap pengaruh lingkungan (Insan, 2019).

2.3 California Bearing Ratio

Dalam perencanaan konstruksi jalan raya, CBR adalah nilai patokan untuk perencanaan tebal perkerasan badan jalan yang mensyaratkan nilai tertentu dengan syarat lainnya seperti gradasi. Menurut (Barnas, 2014), kriteria nilai CBR untuk tanah dasar atau *subgrade* pada konstruksi jalan raya dibagi beberapa kelompok seperti Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Nilai CBR Tanah Dasar Untuk Jalan.

Section	Material	CBR (%)
Subgrade	Sangat baik	20 – 30
	baik	10 – 20
	sedang	5 – 10
	buruk	<5

(Sumber: Barnas E., 2014)

Tanah dasar pada setiap tempat harus memiliki nilai CBR minimal 5%. Apabila nilai CBR kurang dari 5% maka diperlukannya stabilisasi tanah dasar supaya dapat menambah nilai CBR pada tanah dasar tersebut.

2.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah dapat diukur dari perubahan karakteristik teknis tanah antara lain yaitu kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan, potensi pengembangan dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air (Hardiyatmo, 2017).

Metode stabilisasi tanah yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

a. Stabilisasi Mekanis

Metode ini dapat dilakukan melalui proses fisik dengan dirubahnya sifat fisik tanah di lapangan. Tanah hasil stabilisasi secara mekanis mengalami perubahan dengan meningkatnya kekuatan serta ketahanan terhadap beban yang bekerja di atasnya. Bahan material yang sering digunakan untuk metode stabilisasi mekanis yaitu pasir atau tanah dengan butiran yang lebih baik dibandingkan dengan tanah yang sebelumnya.

b. Stabilisasi kimiawi

Metode ini terjadi karena terbentuknya reaksi antara bahan stabilitas dengan tanah sehingga terjadinya stabilisasi pada tanah. Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara menambahkan bahan stabilitas yang dapat mengubah sifat kurang menguntungkan pada tanah. Bahan stabilisasi yang dapat digunakan yaitu semen, kapur, *fly ash*, *bottom ash*, aspal dan lain-lain.

2.5 Stabilisasi Tanah dengan *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Material berupa debu sangat halus yang keluar dari cerobong asap tungku pembakaran disebut dengan *fly ash*. Mutu *fly ash* sendiri cukup beragam tergantung dari kehalusan butiran batubara, dimensi tungku pembakaran, efisiensi pembakaran serta cara penangkapan material dalam pembakaran batubara. *Fly ash* dapat dijadikan sebagai bahan stabilan pengganti semen karena sama-sama bersifat pozzolan yang dapat mengikat mineral dan mengubahnya menjadi padat.

Menurut ASTM C618 *fly ash* diklasifikasikan menjadi 2 kelas yaitu kelas C dan F. perbedaan dari dua kelas tersebut yaitu ada pada material penyusunnya yang berupa Calsium, Silika, Alumunium dan kadar besi. Kelas C memiliki sifat pozzolanic dan mempunyai sifat Cementitious yaitu kemampuan untuk mengeras dan menambah kuat apabila bereaksi dengan air. Sedangkan kelas F mempunyai kadar kapur yang rendah.

Fly ash memiliki kadar karbon yang rendah sehingga cocok digunakan sebagai bahan pencampur semen sedangkan *bottom ash* memiliki kadar karbon yang cukup tinggi sehingga cocok digunakan sebagai bahan polimer. (yunita, 2017) *Bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih besar daripada *fly ash*, oleh karena itu *bottom ash* jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampang debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan disemprot menggunakan air. *Bottom ash* dapat dijadikan sebagai bahan stabilan karena mampu meningkatkan kekuatan tanah dan stabilitasnya, sehingga mampu mengurangi deformasi tanah dan meningkatkan daya dukung tanah.

2.6 Silika Sebagai Material Anorganik

Selain dari *fly ash* dan *bottom ash*, silika gel juga dapat menggantikan semen dalam mengikat air dari udara pada tanah dan dijadikan bahan stabilan. Salah satu penelitian yang menunjukan kandungan dari silika gel yang berbahan dasar POMFA adalah Utama, P. S. (2018). Silika gel mengandung C, Na, Al, K dan S. Elemen C, K dan Al berasal dari POMFA dan beberapa elemen lainnya yang dibawa ke produk silika gel tersebut. Analisis XRF yang tertera pada Tabel 2.

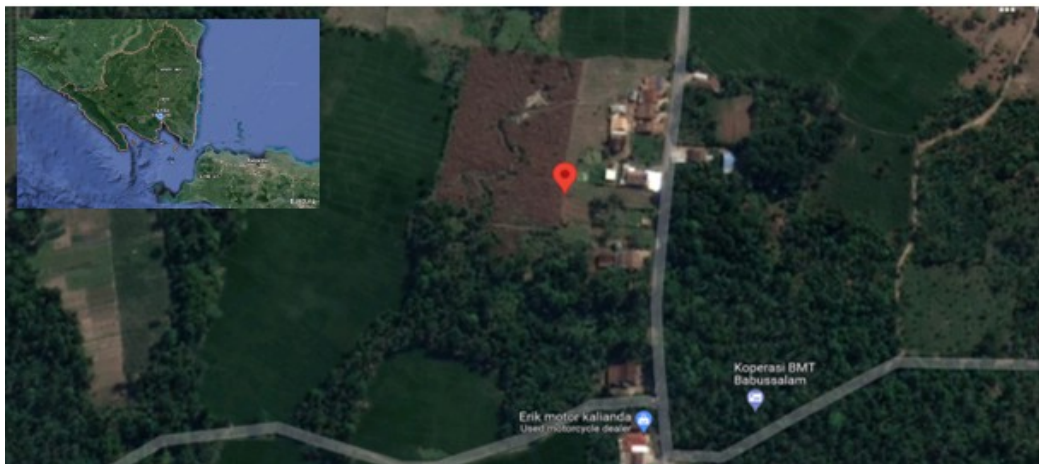
Tabel 2. Komposisi Kimia dari Silika Gel.

Elemen	Berat (%)	Oxide	Berat (%)
Si	42,99	SiO ₂	95,33
Na	0,9	Na ₂ O	2,5
Si	0,1	SO ₃	0,48
Al	0,1	Al ₂ O ₃	0,3
K	0,52	K ₂ O	1,29
O	52,01	-	-
LOI	3,38	LOI	3,38

(sumber : Utama, 2018)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium mekanika tanah fakultas Teknik, universitas lampung. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian karakteristik dasar dan mekanik. Pengujian karakteristik dasar meliputi uji kadar air, volume, berat jenis, Analisa saringan dan batas-batas atterberg dan untuk pengujian mekanis meliputi pengujian uji proctor dan CBR (California Bearing Ratio). Sampel tanah lempung yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada daerah Dusun 3 Umbul Lioh, Desa Palembang, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan. Fly ash dan bottom ash yang digunakan pada peneltian ini berasal dari PLTU Sebalang, Tarahan, Lampung Selatan.



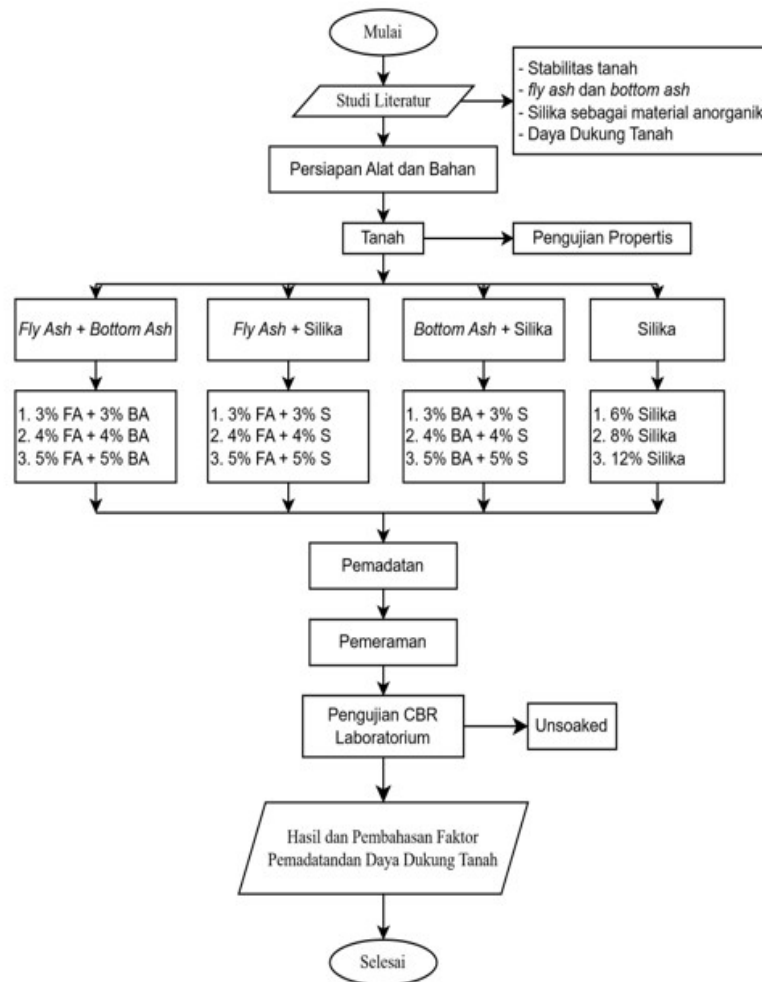
Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Lempung.

Pencampuran tanah lempung dengan bahan stabilan dilakukan secara manual. Sebelum dilakukan pencampuran, silika gel yang masih berbentuk butiran dilakukan penghancuran dengan dimasukan kedalam plastic dan dihancurkan menggunakan palu. Pembuatan benda uji CBR sesuai dengan kadar air optimum (OMC) pada pengujian pemadatan dan dilakukan pemeraman selama 24 jam menggunakan plastik.



Gambar 2. Pemeraman Sampel dengan Kondisi Terbungkus.

Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada diagram alir yang tercantum pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan indeks propertis tanah tanpa bahan stabilan yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung disajikan secara ringkas pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Tanpa Bahan Stabilisasi.

Pengujian	Hasil	Satuan
Kadar Air	51,75	%
Berat Jenis	2,59	
Batas-batas Atterberg		
Batas Cair (LL)	78,00	%

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Tanpa Bahan Stabilisasi (Lanjutan)

Pengujian	Hasil	Satuan
Batas Plastis (PL)	35,84	%
Indeks Plastisitas (IP)	42,16	%
Analisa Saringan		
No. 200	54,61	%
Berat Volume	1,61	gr/cm ³
Pemadatan		
Kadar Air Optimum	24	%
Berat Kering Maksimum	1,31	gr/cm ³
CBR (unsoaked)	4,2	%
Klasifikasi Tanah		
AASHTO	A-7-5	
USCS	OH	

4.1 Pengujian CBR dengan Bahan Stabilisasi

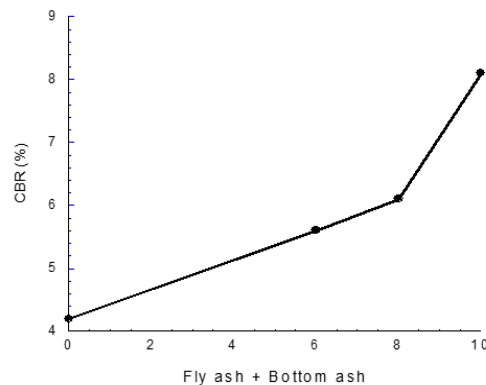
Pengujian CBR Laboratorium tanpa rendaman dengan pemeramn 24 jam terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian CBR Laboratorium dengan Bahan Stabilisasi.

Campuran	CBR (%)
Tanah Asli	4,2
Tanah + 3%FA + 3%BA	5,6
Tanah + 4%FA + 4%BA	6,1
Tanah + 5%FA + 5%BA	8,1
Tanah + 3%FA + 3%Silika	6,1
Tanah + 4%FA + 4%Silika	7,5
Tanah + 5%FA + 5%Silika	8,8
Tanah + 3%BA + 3%Silika	5,8
Tanah + 4%BA + 4%Silika	6,6
Tanah + 5%BA + 5%Silika	8,3
Tanah + 6%Silika	6,8
Tanah + 8%Silika	9
Tanah + 12%Silika	11

4.2 Penambahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Berikut merupakan pembahasan mengenai nilai CBR terhadap penambahan *fly ash* dan *bottom ash*. Gambar 5 menunjukan dengan meningkatnya persentase penambahan *fly ash* dan *bottom ash* beriringan dengan naiknya nilai CBR. Nilai CBR mula mula tanah asli sebesar 4,20% ditambahkan *fly ash* dan *bottom ash* mencapai nilai tertinggi yaitu 8,10% pada penambahan 5% *fly ash* + 5% *bottom ash*. Semakin banyaknya persentase *fly ash* dan *bottom ash* maka semakin padat atau rapat antar partikelnya. *Fly ash* memiliki butiran lebih kecil dibandingkan dengan *bottom ash*, hal ini dapat menyebabkan naiknya nilai daya dukung tanah dasar tersebut. Namun tidak menutup kemungkinan semakin banyak campuran *fly ash* dan *bottom ash* yang ditambahkan akan meningkatkan daya dukung tanah dasar, ada persentase batasan yang dapat menurunkan performa bahan stabilisasi.

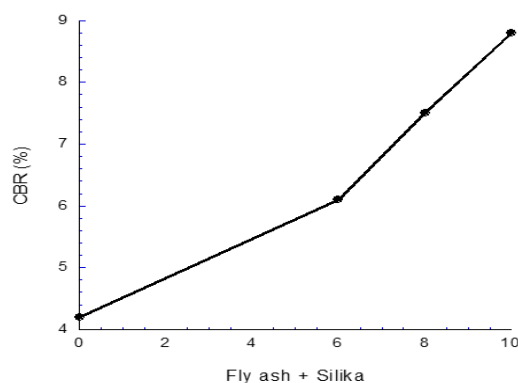


Gambar 5. Hubungan Antara Nilai CBR dengan Persentase FA+BA.

4.3. Penambahan *Fly Ash* dan Silika

Berikut merupakan pembahasan mengenai nilai CBR terhadap penambahan *fly ash* dan silika. Gambar 6 menunjukkan dengan meningkatnya persentase penambahan *fly ash* dan silika beriringan dengan naiknya nilai CBR. Nilai CBR mula mula tanah asli sebesar 4,20% ditambahkan *fly ash* dan silika mencapai nilai tertinggi yaitu 8,80% pada penambahan 5% *fly ash* + 5% silika. Pada penambahan 5% *fly ash* + 5% silika, terdapat kenaikan sebesar 109%. Hal ini menunjukkan karena *fly ash* mengisi ruang pori yang kosong antara partikel tanah sedangkan silika mengikat air didalam tanah.

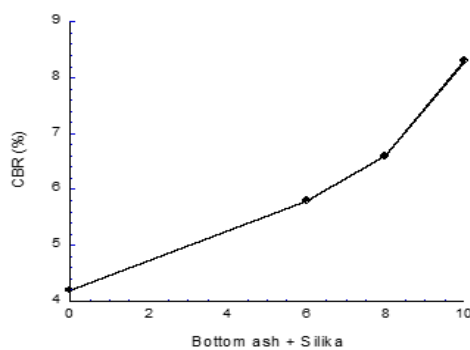
Kadar air sangat mempengaruhi nilai dari CBR itu sendiri. *Fly ash* dan silika dapat mengisi ruang pori tersebut dan dapat bereaksi secara hidrasi dan mengikat air untuk meningkatkan daya dukung tanah. Semakin sedikit persentase penambahan material *fly ash* dan silika maka menyebabkan kadar air meningkat. Hal ini dikarenakan semakin rendahnya proses hidrasi dan pengikatan air yang disebabkan oleh *fly ash* dan silika terhadap tanah dan dapat mempengaruhi nilai dari daya dukung tanah tersebut.



Gambar 6. Hubungan Antara Nilai CBR dengan Persentase FA+Si.

4.4 Penambahan *Bottom Ash* dan Silika

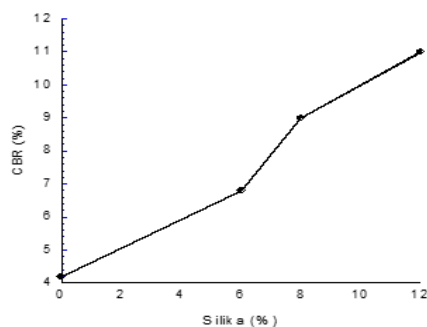
Berikut merupakan pembahasan mengenai nilai CBR terhadap penambahan *bottom ash* dan silika. Gambar 7 menunjukkan dengan meningkatnya persentase penambahan *bottom ash* dan silika beriringan dengan naiknya nilai CBR. Nilai CBR mula mula tanah asli sebesar 4,20% ditambahkan *bottom ash* dan silika mencapai nilai tertinggi yaitu 8,30% pada penambahan 5% *bottom ash* + 5% silika. Penambahan *bottom ash* mampu meningkatkan nilai CBR tetapi tidak sebesar penambahan *fly ash*. Hal ini terjadi karena butiran *bottom ash* lebih besar daripada butiran *fly ash*, sehingga *fly ash* dapat lebih mudah mengisi rongga pori dibandingkan dengan *bottom ash*.



Gambar 7. Hubungan Antara Nilai CBR dengan Persentase BA+Si.

4.5 Penambahan Silika

Berikut merupakan pembahasan mengenai nilai CBR terhadap penambahan silika. Gambar 8 menunjukkan dengan meningkatnya persentase penambahan silika beriringan dengan naiknya nilai CBR. Nilai CBR mula mula tanah asli sebesar 4,20% ditambahkan *bottom ash* dan silika mencapai nilai tertinggi yaitu 11% pada penambahan 12% silika, terdapat kenaikan sebesar 161%. Hal ini dapat terjadi karena silika mempunyai sifat menyerap atau mengikat air disekitarnya yang mengakibatkan tanah mampu berkurangnya kadar air dalam kurun waktu yang dapat dikatakan cepat dan dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah.



Gambar 8. Hubungan Antara Nilai CBR dengan Persentase Silika.

Dari 4 kategori bahan stabilisasi yang digunakan pada penelitian ini, silika berpengaruh besar daripada *fly ash* dan *bottom ash*. Silika dapat cenderung meningkatkan berat isi kering lebih signifikan daripada penggunaan *fly ash* dan *bottom ash*. Proses kimia yang terjadi pada tanah ketika dicampurkan kemudian diperam merupakan salah satu tujuan dari stabilisasi tanah itu sendiri yang mampu merubah sifat fisik dari tanah yang dapat dikatakan jelek menjadi lebih baik lagi.

Fly ash dan *bottom ash* dapat meningkatkan daya dukung tanah namun tidak terlalu signifikan. Campuran *fly ash* dan silika didapatkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan campuran *bottom ash* dan silika. Hal ini dapat terjadi karena *fly ash* dapat bereaksi secara kimia yaitu proses hidrasi, sedangkan *bottom ash* dapat menyerap air seperti silika, Namun tidak terlalu besar tingkat penyerapannya. Semakin banyak *bottom ash* yang ditambahkan, maka akan terjadi gumpalan tanah yang akan menyebabkan rongga pori tanah membesar. Oleh karena itu, pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa silika sangat mempengaruhi nilai daya dukung tanah yang semula termasuk dalam kategori buruk menjadi kategori baik.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan dengan menggunakan 4 komposisi bahan stabilan dengan tanah lempung golongan A-7-5 (klasifikasi AASHTO) dan OH (klasifikasi USCS) didapatkan hasil yang berbeda. Dari 4 komposisi tersebut campuran yang memiliki nilai daya dukung terbesar pada campuran hanya silika. Dikarenakan hasil dari pengujian CBR pada campuran 8% silika lebih besar daripada campuran 10% komposisi *fly ash*, *bottom ash* dan silika. Hal ini dapat terjadi karena silika mempunyai sifat menyerap atau mengikat air disekitarnya yang mengakibatkan tanah mampu berkurangnya kadar air dalam kurun waktu yang dapat dikatakan cepat dan dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618. (2018). Astm C 618. 21-23
- Barnas, E. and Karopeboka, B., 2014. Penelitian Kekuatan Tanah Metode CBR (California Bearing Ratio) di SPBG Bogor 1 Bubulak Jl KH R Abdullah bin Nuh. *Jurnal KaLIBRASI-Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri.*, 9.
- Das, B. M, (1985). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) (1st ed.).
- Hardiyatmo, H. (2017). *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*.
- Insan, M. K., Hariati, F. & Muhammad, F. (2019). Studi Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Material Stabilisasi Tanah Dasar. *Jurnal Komposit*, Vol. 3 No. 2.
- Meidilla, D. W. & Ridwan, M. (2017). Pengaruh Penambahan Abu Dasar pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR. *Rekayasa Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 03, pp. 310-318.
- Soewignjo, A. N., Ferry, F. & Lembasi, M. (2022). Perubahan Nilai CBR Terhadap Penambahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* pada Tanah Lempung.

- Utama, P. S., Yamsaengsung, R., & Sangwichien, C. (2018). Silica gel derived from palm oil mill fly ash. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 40(1), 121-126.
- Yunita, E., Rahmaniah & Fitriyanti. (2017). Analisis Potensi dan Karakteristik Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash Hasil Dari Pembakaran Batu Bara pada PLTU PT. Semen Sentosa. *JFT*, No.1, Vol. 4.

