

PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH (FABA)

¹Muamar Khadafi*, ²Khavids Afrianda*, ³Abdul Rochim, ⁴Lisa Fitriyana

^{1,2,3,4}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

*Corresponding Author:

¹ dafi290402@gmail.com , ² khavidz.afrianda.03@gmail.com

Abstrak

Tanah lempung lunak adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Oleh karena itu, dibutuhkan stabilisasi menggunakan fly ash dan bottom ash (FABA) guna meningkatkan kualitas tanah tersebut. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui jenis karakteristik dari sampel tanah asli dan tanah yang sudah dicampur dengan material tambahan yaitu fly ash dan bottom ash, serta membandingkan nilai CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit. Metode penelitian ini menggunakan sampel tanah lempung dari Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287 dan dilakukan terlebih dahulu Analisa terkait sifat-sifat dasar. Setelah itu, pengujian dengan penambahan FABA pada tanah lempung tersebut diterapkan dengan variasi yang beragam yaitu 5%, 10%,15%, 35%, 50%, 55%, 70%. Pengujian laboratorium untuk indeks properties dan indeks mekanik dilakukan pada sampel-sampel yang telah dilakukan penambahan FABA akan dilakukan pengujian ulang untuk memantau perubahan yang terjadi. Hasil pengujian yang kami peroleh di laboratorium menunjukkan bahwa sampel tanah asli menunjukkan nilai CBR 4,60%. Dengan penambahan campuran tanah fly ash dan bottom ash dapat meningkatkan nilai CBR yang terdapat pada tanah campuran 5 dengan nilai CBR 7,51% yang termasuk dalam kategori sedang.

Kata Kunci: Tanah Lempung, CBR, FABA

Abstract

Soft clay is a soil that has certain mineral particles that produce plastic properties in the soil when mixed with water (Grim, 1953). Therefore, stabilization using fly ash and bottom ash (FABA) is needed to improve the quality of the soil. The purpose of this research is to determine the type of characteristics of the original soil sample and soil that has been mixed with additional materials, namely fly ash and bottom ash, and compare the CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit values. This research method uses clay soil samples from Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Sayung Kec. Sayung, Demak Regency, Central Java 55287 and first analyzes the basic properties. After that, testing with the addition of FABA to the clay soil was applied with various variations, namely 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70%. Laboratory tests for properties index and mechanical index were carried out on samples that have been added FABA will be retested to monitor the changes that occur. The test results we obtained in the laboratory showed that the original soil sample showed a CBR value of 4.60%. The addition of fly ash and bottom ash soil mixture can increase the CBR value found in soil mixture 5 with a CBR value of 7.51% which is included in the medium category.

Keywords: Clay, CBR, FABA.

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung lunak adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Sebagai material dasar yang memiliki fungsi yang penting sebagai dasar di mana suatu konstruksi akan dibangun, tanah yang memiliki daya dukung rendah memiliki resiko yang besar terhadap keruntuhan disebabkan kurangnya kemampuan untuk menopang beban konstruksi di atasnya.

Karakteristik yang perlu diketahui pada tanah dasar jalan adalah nilai CBR tanah. Permasalahan yang sering dijumpai pada tanah dasar adalah terkait dengan daya dukung tanah rendah yang ditandai dengan rendahnya nilai California Bearing Ratio (CBR). Batasan nilai CBR untuk tanah dasar minimal 6%, agar lapisan perkerasan tidak mudah mengalami retak dan runtuh akibat terjadinya penurunan badan jalan (Soedarsono dikutip dari Waruwu et al., 2021). Menurut Bowles (1989), tanah dengan nilai CBR 2% – 5% diklasifikasikan sebagai tanah dengan CBR rendah, 6 – 9% sebagai tanah dengan CBR sedang, 7% – 20% sebagai tanah dengan CBR baik.

Sampel tanah yang diambil berasal dari Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287 menghasilkan nilai CBR dibawah 6%. Oleh karena itu kita lakukan stabilisasi tanah menggunakan campuran Fly Ash dan Bottom Ash.

Stabilisasi tanah merupakan proses di mana tanah dicampur dengan jenis material lain agar tercipta sifat tanah yang baik, tujuannya yaitu agar tanah dapat menopang beban dengan lebih mudah. Jenis material yang digunakan dapat berupa suatu campuran berupa *bottom ash*, *fly ash*, gypsum, dan kapur.

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh dari penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan sebagai stabilisator pada tanah lempung lunak. Tanah lempung sendiri memiliki daya dukung tanah yang lebih rendah dengan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik.

Maksud dan Tujuan

Maksud dan Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu:

- a. Mengetahui jenis dan karakteristik dari sampel tanah asli.
- b. Mengetahui karakteristik tanah yang dicampur dengan fly ash dan bottom ash (FABA) sebagai material stabilisasi tambahan.
- c. Membandingkan nilai CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit pada tanah asli dan CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit tanah yang dicampur dengan fly ash dan bottom ash.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Bowles (1991) dalam (Yuniati, 2010), tanah tak kohesif tidak memiliki garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Namun dalam beberapa kondisi tertentu, tanah tak kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental.

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi ini memiliki tujuan untuk menentukan pemakaian tanah berdasarkan kecocokan tertentu. Tidak hanya itu, klasifikasi ini penting sebagai sara informasi untuk mengetahui keadaan tanah di suatu daerah dalam bentuk data dasar, seperti karakteristik, pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Terdapat 2 (dua) sistem klasifikasi pada ilmu mekanika tanah yang biasa dikelompokkan. Sistem tersebut memperhitungkan batas-batas *Atterbeg* serta distribusi dari ukuran butir, sistem tersebut ialah:

a. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO)

Tujuan dari dikembangkannya sistem ini yaitu untuk menilai kualitas tanah sebagai timbunan jalan, *sub-base*, serta *sub-grade*. Melalui sistem ini, tanah diklasifikasikan menjadi 7 (tujuh) kelompok utama (A-1 sampai A-7) dengan tujuan menilai tanah dalam kelompok tersebut (Das, 1995).

b. Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Sistem ini digunakan setelah United States Bureau of Reclamation atau USBR melakukan perbaikan terhadap sistem klasifikasi tanah yang diusulkan pertama kali oleh Cassagrande pada tahun 1942 (Das, 1995). Klasifikasi tanah pada sistem ini yaitu mengklasifikasikan tanah sebagai butiran kasar (kerikil atau pasir) jika kurang dari 25% lolos saringan No. 200, sedangkan jika lebih dari 25% lolos saringan No. 200 maka diklasifikasikan sebagai berbutir halus (lanau dan lempung).

Tanah Lempung

Tanah lempung plastis terletak dalam selang air dengan kadar air sedang hingga luas dan terdiri dari agregat partikel pembusukan kimiawi dari bagian-bagian batuan yang berukuran mikroskopik dan submikroskopik. Ketika kering, sulit membersihkannya dengan tangan kosong. Tambahan pula, permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi & Peck, 1987). Pengaruh air pada tanah lempung mengakibatkan tanah dapat mengembang dan menyusut dengan cepat; itu keras saat kering dan lunak saat basah.

- Sifat Fisik Tanah

Mayoritas tanah terdapat 2 (dua) atau 3 (tiga) bagian: butiran tanah dan pori-pori udara. Sedangkan pada tanah jenuh terdapat 2 (dua) bagian: butiran padat atau butiran, pori-pori udara, dan air pori. Sementara pada tanah tidak jenuh terdapat 3 (tiga) bagian: butiran padat atau butiran, pori-pori udara, dan air pori.

Tabel 2. 3 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah Berat Jenis (Gs)	Macam Tanah Berat Jenis (Gs)
Kerikil Pasir	2,62 – 2,68
Lanau Anorganik Lempung Organik	2,65 – 2,68
Lempung Anorganik Humus	2,62 – 2,68
Gambut	2,58 – 2,65
	2,68 – 2,75
	1,37
	1,25 – 1,8

Sumber: Hardiyatmo, 2002

- Tanah Dasar

Tanah dasar dengan daya dukung yang lemah dapat mengakibatkan tanah tersebut mudah retak dan rusak. Dengan memperhatikan hal-hal tersebut, dilakukannya stabilisasi menjadi pokok penting untuk memperbaiki tanah yang dapat dilakukan dengan mekanis ataupun kimiawi.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah dilakukan dengan tujuan untuk melakukan peningkatan terhadap sifat teknis tanah dengan meningkatkan kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan operasi, potensi pertumbuhan, serta sensitifitas terhadap fluktuasi kadar air. Proses ini dapat dilakukan dengan melakukan penggabungan tanah dengan tanah urugan atau bahan tambahan yang diproduksi oleh pabrik. Stabilisasi yang paling umum dilakukan yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi.

- Stabilisasi Mekanis

Proses mencampurkan dua jenis tanah dengan karakteristik gradasi yang berbeda guna mendapatkan karakteristik bahan yang memenuhi syarat kekuatan yang dibutuhkan dikenal sebagai stabilisasi mekanis. Proses ini dapat dicapai dengan menggali tanah dengan karakteristik yang kurang baik lalu menggantinya dengan tanah dengan karakteristik lebih baik.

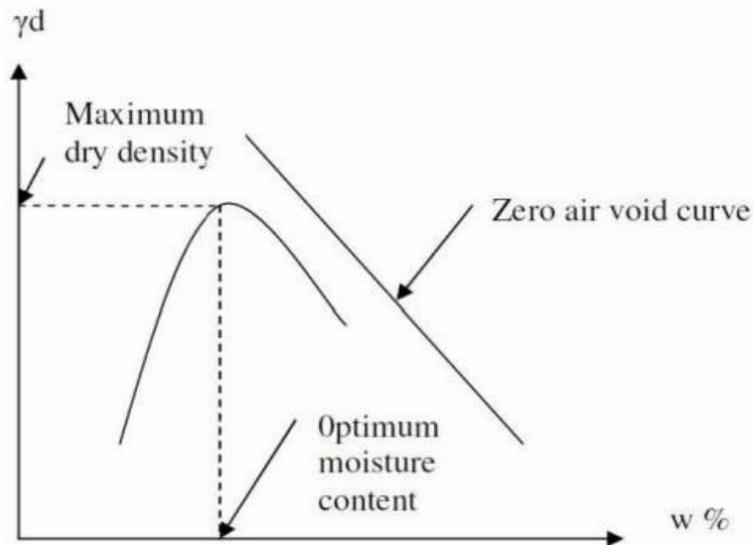
- Stabilisasi Kimiawi

Proses stabilisasi secara kimiawi dilakukan dengan menambahkan material yang bersifat kimiawi dengan tujuan yaitu mengubah sifat tanah yang tidak baik. Material kimiawi ini didapat dari bahan hasil olahan pabrik yang tujuannya untuk meningkatkan sifat teknis tanah seperti kemudahan, kekuatan, tekstur, dan plastisitas. Material yang biasa digunakan untuk melakukan stabilisasi ini yaitu antara lain semen portland, kapur, aspal (bitumen), serta abu batubara. Karakteristik yang cocok untuk menggunakan metode ini yaitu pada tanah dengan butiran yang halus.

Pemadatan Tanah (*Proctor Standard*)

Uji pemadatan tanah atau Standar Metode Laboratorium Proctor, diperlukan guna menentukan kadar air ideal yang terkandung di dalam tanah. Pada jenis tanah tertentu akan mencapai kepadatan kering dan padat tertinggi. Berikut menunjukkan hubungan berat volume kering (d) dengan berat volume basah (b) dan kadar air (ω).

Standar pada uji Proctor dilakukan dengan cetakan silinder berdiameter 101,6 mm dengan volume 943,3 cm³, lalu ditumbuk sebanyak 25 tumbukan per lapisan tanah.



Gambar 2. 1 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air (Das, 1995)

California Bearing Test (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) dilakukan dengan tujuan yaitu mengetahui nilai daya dukung tanah (CBR) pada tingkat kepadatan dan kondisi air tertentu. Hasil dari pengujian ini yaitu berupa nilai CBR yang akan ditunjukkan oleh harga CBR, dengan melakukan proses ini maka akan didapat kapasitas tanah untuk mengatasi tekanan struktur.

Harga CBR didapatkan dengan membagi standar CBR pada penetrasi 0,1” atau sekitar 2,54 mm dengan beban standar yaitu 70,31 kg/cm² atau sekitar 1000 psi, sedangkan pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar yaitu 105,47 kg/cm² atau sekitar 1500 psi. Kemudian, harga yang telah didapat dikalikan dengan 100%.

- a. CBR dengan beban normal 70,31 kg/cm² atau 1000 psi pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm.
- b. CBR pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi.

3. METODE PERANCANGAN

Laboratorium Mekanika Tanah di Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung Semarang melakukan penelitian eksperimental tentang karakteristik fisik dan mekanik. Proktor melakukan pemeriksaan terhadap batas konsistensi tanah untuk karakteristik fisik dan CBR (*California Bearing Ratio*). Kadar air ideal (OMC) digunakan pada tanah asli untuk membuat benda uji CBR.

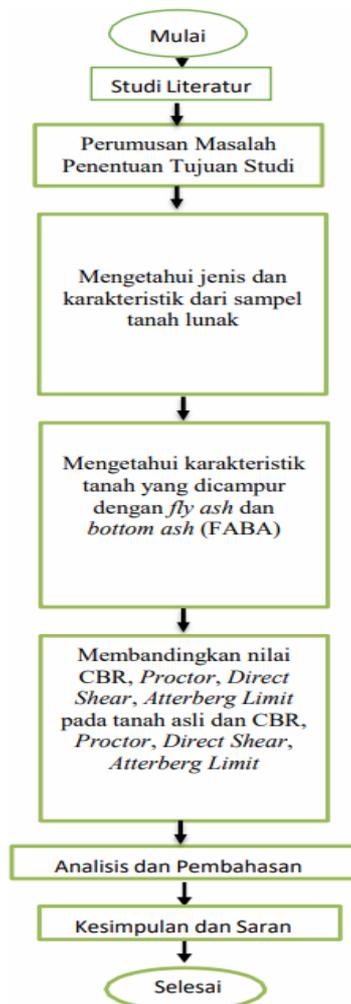
Untuk setiap pengujian, bahan uji dikombinasikan saat benda uji dilakukan pengujian pada tanah campuran. Untuk pengujian CBR, campuran tanah, *fly ash* dan *bottom ash* dicampur dengan air sampai tingkat air yang ideal untuk tanah asli. Untuk campuran *bottom ash* dan *fly ash*, ditambahkan 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70% dari berat kering tanah masing-masing.

Untuk memudahkan penamaan dan perawatan sampel yang digunakan dalam penelitian. Selanjutnya, setiap sampel uji diberi kode dan perlakuan, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kode dan perlakuan

KODE	PERLAKUAN
S ₀	Tanah asli 100%
S ₁	Tanah 50% + BA 15% + FA 35%
S ₂	Tanah 35% + BA 10% + FA 55%
S ₃	Tanah 20% + BA 10% + FA 70%
S ₄	Tanah 25% + BA 5% + FA 70%
S ₅	Tanah 50% + FA 50%

Bagan Penelitian



Gambar 3. 1 Bagan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum stabilisasi tanah dilakukan, terlebih dahulu diuji physical properties mekanis untuk mengetahui sifat tanah asli. Berikut adalah hasil properties tanah asli.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Properties Tanah Asli

Sifat	Nilai	Satuan
Spesific Gravity (GS)	2,160	
Batas Cair (LL)	59,39	%
Batas Plastis(PL)	30,41	%
Indeks Plastisitas (IP)	28,98	%

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Mekanis Tanah Asli

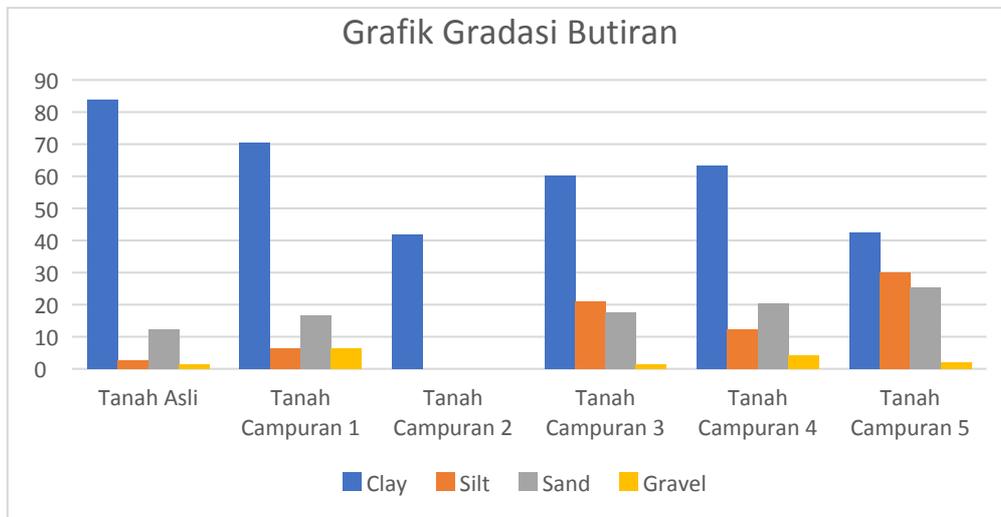
Sifat	Nilai	Satuan
Persenan Butiran Tanah Lolos Saringan No.200	86,36	%
Kadar Air Optimum (wopt)	29,20	%
Berat Volume Kering Maksimum (yd Max)	13,10	kN/m ³
Kohesi (c)	0,112	Kg/cm ²
Sudut Geser Dalam (ϕ)	18,47	($^{\circ}$)
Nilai CBR	4,59	%

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diatas dapat dijelaskan tanah asli merupakan tanah lempung lunak, bisa dilihat dari hasil persenan butiran tanah lolos saringan No.200 sekitar 86,36%, nilai sudut geser (ϕ) 18,47 $^{\circ}$, dan nilai CBR 4,59%. Setelah didapatkan *Physical Properties*, maka tanah asli selanjutnya dilakukan stabilisasi dengan *Fly ash* dan *Bottom ash* di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA dengan beberapa metode berikut.

Grain Size

Tabel 4. 3 Hasil Grain Size

No	Sampel	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Gravel (%)
1	Tanah Asli	83,83	2,53	12,40	1,25
2	Tanah Campuran 1	70,44	6,44	16,76	6,36
3	Tanah Campuran 2	41,87	30,96	23,65	3,52
4	Tanah Campuran 3	60,25	20,99	17,43	1,33
5	Tanah Campuran 4	63,19	12,23	20,30	4,28
6	Tanah Campuran 5	42,43	30,03	25,51	2,03



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Butiran

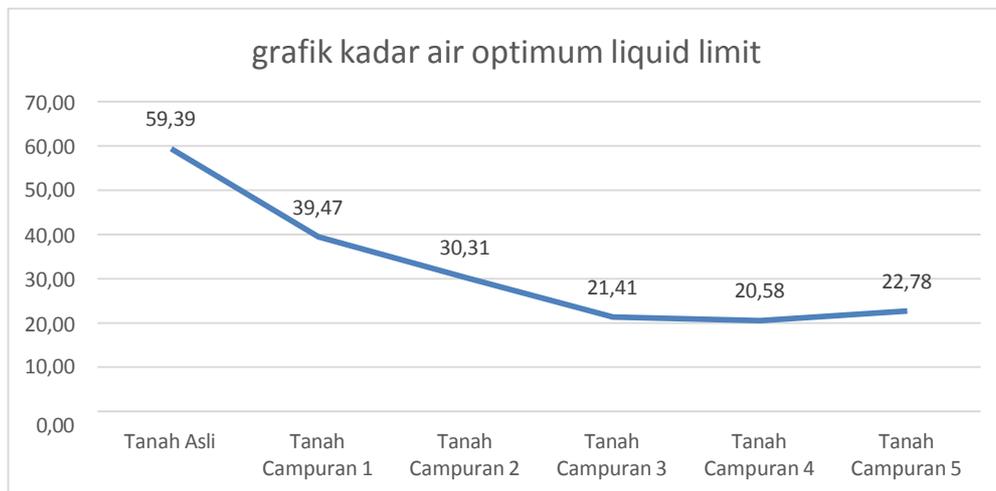
Menurut grafik gradasi butiran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.4.1 Tanah Asli memiliki persenan clay paling banyak, yang berarti termasuk ke tanah lempung.

Atterberg Limits

Tabel 4. 4 Hasil Indeks Plastisitas

Sampel	LL %	PL %	IP %
Tanah Asli	59,39	30,41	28,98
Tanah Campuran 1	39,47	27,00	12,47
Tanah Campuran 2	30,31	22,79	7,52
Tanah Campuran 3	21,41	16,80	4,61
Tanah Campuran 4	20,58	14,63	5,95
Tanah Campuran 5	22,78	17,69	5,09

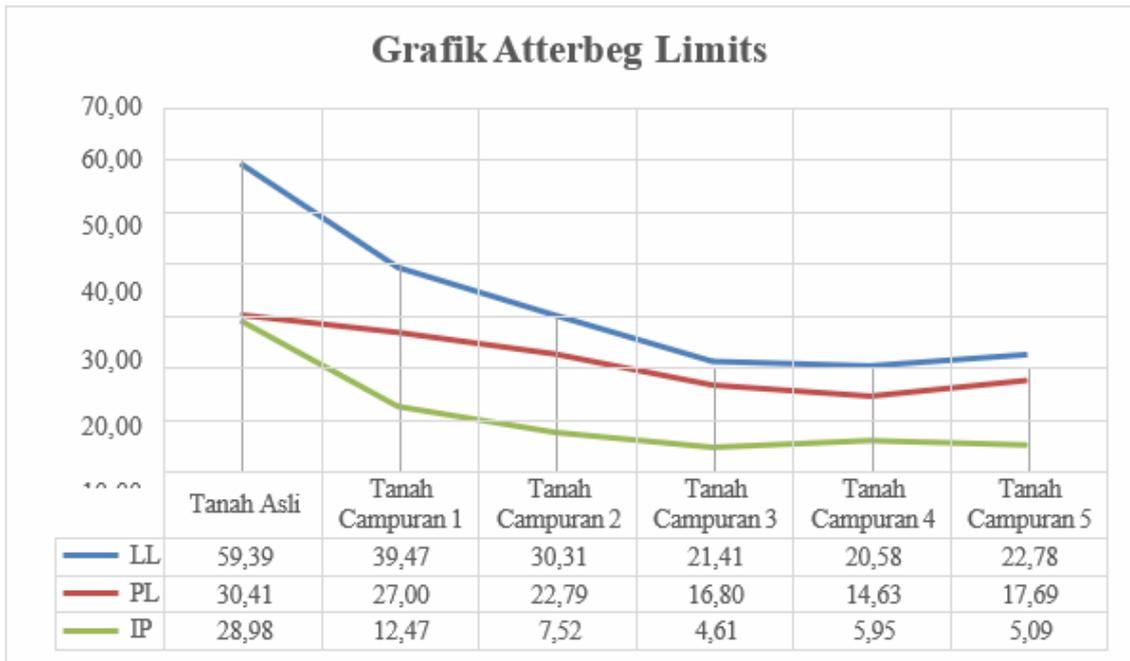
- Batas Cair



Gambar 4. 2 Kadar Air Optimum Liquid Limit

Menurut grafik kadar air optimum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, karena campuran *fly ash* lebih tinggi dari *bottom ash*, batas cairan semakin kecil.

- Batas Plastis



Gambar 4. 3 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran Fly Ash dan Bottom Ash

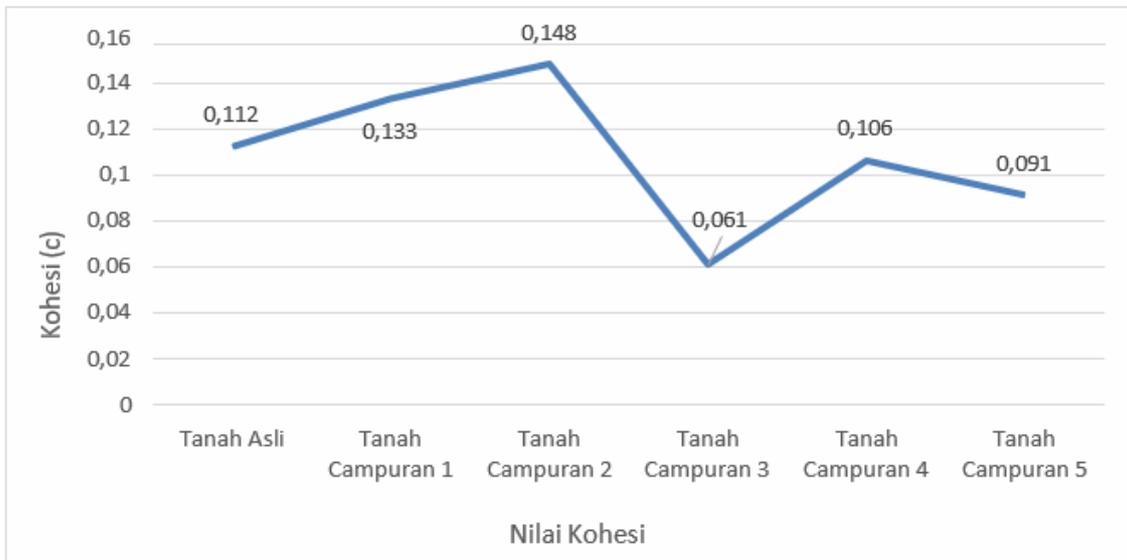
Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* menunjukkan bahwa nilai IP tanah, semakin banyak diberikan campuran, nilai IP semakin menurun karena akibat dari peningkatan sifat tanah, yang berarti bahwa daya dukung tanah meningkat.

Direct Shear

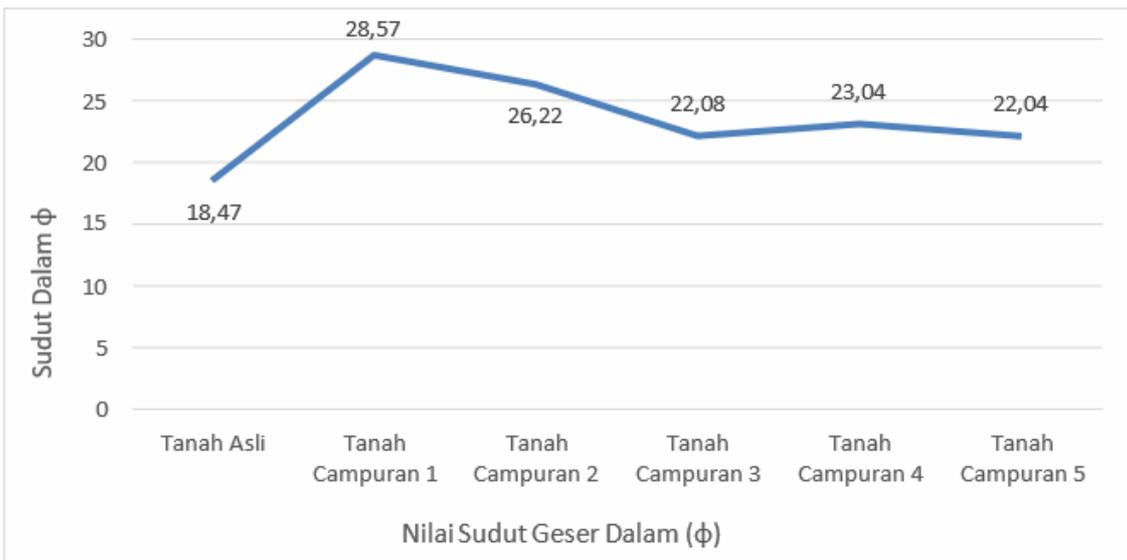
Tabel 4. 5 Hasil Penggambaran *Direct Shear*

No	Sampel	Kohesi (c) (Kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (φ)(°)
1	Tanah Asli	0,112	18,47
2	Tanah Campuran 1	0,133	28,57
3	Tanah Campuran 2	0,148	26,22
4	Tanah Campuran 3	0,061	22,08
5	Tanah Campuran 4	0,106	23,04
6	Tanah Campuran 5	0,091	22,04

Dari Tabel 4. 5 hasil penggambaran *Direct Shear* tersebut diperoleh grafik nilai kohesi (c) dari tiap sampel seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Kohesi Tanah Asli dan Campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*



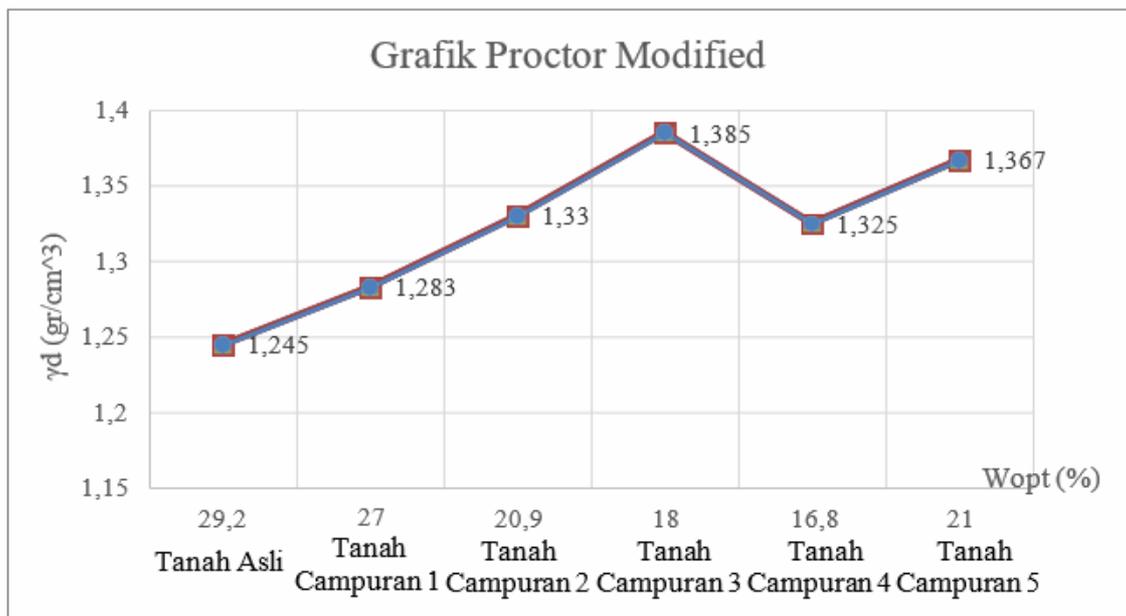
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Sudut Geser Dalam Tanah Asli dan Campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Berdasarkan Gambar 4.4 dan 4.5 di atas dapat diartikan maka semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin baik daya dukung tanahnya. Nilai kohesi tanah yang tinggi ditemukan berdasarkan hasil uji *Direct shear* di presentase (Tanah Campuran 2) yakni 0,148 kg/cm². Namun, pada sudut geser nilai yang paling tinggi yakni pada presentase (Tanah Campuran 1) yakni 28,570%.

Proctor Modified

Tabel 4. 6 Hasil *Proctor Modified* dari Tanah Asli yang terdiri dari campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

No	Sampel	Wopt (%)	γ_d (gr/cm ³)
1	Tanah Asli	29,20	1,245
2	Tanah Campuran 1	27,00	1,283
3	Tanah Campuran 2	20,90	1,330
4	Tanah Campuran 3	18,00	1,385
5	Tanah Campuran 4	16,80	1,325
6	Tanah Campuran 5	21,00	1,367



Gambar 4. 6 Grafik Proctor Modified yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

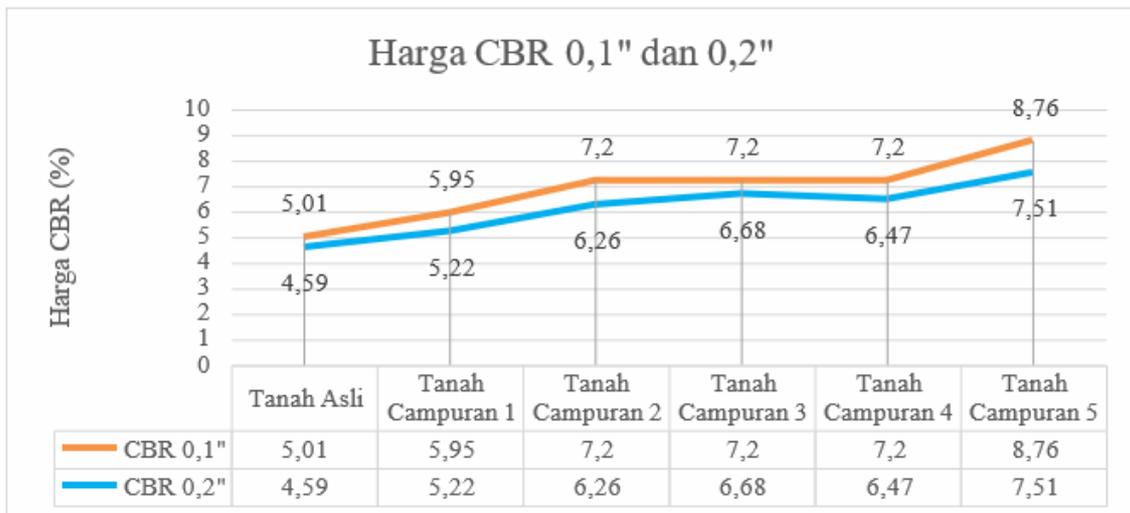
Berdasarkan dari gambar 4.6 di atas, dapat dilihat bahwa kecenderungan (*trens*) grafik *proctor modified* semakin banyak diberikan campuran *Fly ash* dan *Bottom ash* semakin kecil (w_{opt}) dan semakin besar γ_d (gr/cm³), ini berarti karakter daya dukung tanah semakin meningkat (karakter tanah semakin baik). w_{opt} tanah paling rendah diketahui pada campuran 4 yakni 16,80%.

California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) digunakan untuk menghitung nilai daya dukung tanah dengan kerapatan tertinggi.

Tabel 4. 7 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Jenis Sampel	Beban Bawah Koreksi		Harga CBR	
	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
Tanah Asli	150,26	206,60	5,01	4,59
Tanah Campuran 1	178,43	234,78	5,95	5,22
Tanah Campuran 2	215,99	281,73	7,20	6,26
Tanah Campuran 3	215,99	300,51	7,20	6,68
Tanah Campuran 4	215,99	291,12	7,20	6,47
Tanah Campuran 5	262,95	338,08	8,76	7,51



Gambar 4. 7 Grafik Harga CBR 0,1" dan 0,2"

Berdasarkan Gambar 4.7, terlihat bahwa menambahkan *Bottom Ash* dan *Fly Ash* maka semakin meningkat nilai CBR tanah tersebut yang berarti itu daya dukung tanah semakin meningkat. Nilai CBR paling tinggi didapatkan di Tanah Campuran 5 yakni CBR 7,51% termasuk kategori sedang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Setelah diuji di laboratorium, sampel tanah asli yang diambil dari Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 59563, adalah jenis tanah lempung lunak, hal ini terlihat dari hasil uji properties tanah seperti pada hasil uji direct shear dimana nilai sudut geser dalam 18,470, hasil uji CBR tanah

asli 4,59 %, nilai (GS) 2,160, nilai indeks plastisitas (IP) 28,98%, dan kadar air optimum (wopt) 29,20%.

2. Hasil pengujian di laboratorium memberikan hasil yang berbeda untuk setiap sampel tanah asli campuran fly ash dan bottom ash. Bisa dilihat dari nilai CBR tanah asli 4,59% yang termasuk dalam kategori tanah buruk sampai sedang (3% - 7%) dan saat ditambahkan fly ash dan bottom ash nilai maksimal CBR mencapai 7,51% yang termasuk dalam kategori tanah sedang (7% - 20%). Kesimpulannya adalah dengan menambahkan fly ash dan bottom ash dapat meningkatkan daya dukung tanah.
3. Hasil dari pengujian CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit di laboratorium menunjukkan bahwa tanah asli dengan penambahan campuran tanah fly ash dan bottom ash dapat meningkatkan nilai CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit. Nilai CBR Tanah Asli dengan harga CBR 4,59% dan Nilai CBR maksimal terdapat pada tanah campuran 5 dengan harga CBR 7,51% yang termasuk dalam kategori sedang.

Sedangkan saran dalam penelitian ini terdiri dari beberapa faktor antara lain sebagai berikut:

1. Untuk pengembangan penelitian berikutnya, disarankan menggunakan bahan stabilisasi lain seperti semen, kapur, dll dengan variasi kadar campuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, A., Yuliet, R., & Fernandez, F. L. (2012). Pengaruh penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung daerah lambung bukit terhadap nilai CBR tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 8(1), 29-44.
- Bowles, J. . (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga.
- Bowles, J. E. (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soil: Second Edition*.
- Chairullah, B. (2011). Stabilisasi tanah lempung untuk material tanah dasar sub grade dan sub base jalan raya. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 61-70.
- Darmadi, M. F. S., & Mujahidin, P. R. (2024). *ANALISIS CBR TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH (FABA)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Das, B. M. (1993). "Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis." *Institut Teknologi 10 Nopember*, 239.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Penerbit Erlangga, 1-300.

- Hamzah, T. (2021). *ANALISIS PERBANDINGAN STABILITAS TANAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN TAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH (FABA) DARI LIMBAH BATU BARA* (Doctoral dissertation, Universitas Putra Indonesia YPTK).
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I Jilid III*. Gajah Mada University Press, 1.
- Hardiyatmo, H. C. (2022). *STABILISASI TANAH UNTUK PERKERASAN JALAN*. Gajah Mada University Press.
- Hutama Putra, M. D., Zaika, Y., & Rachmansyah, A. (2017). *Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif Dengan Metode Deep Soil Mixing Pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah Asli Terhadap Nilai Cbr Dan Pengembangan* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Indriyati, T. S., Malik, A., & Alwinda, Y. (2019). Kajian pengaruh pemanfaatan limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) pada konstruksi lapisan base perkerasan jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2), 112-119.
- Juansyah, Y. (2016). Analisa Karakteristik Tanah Timbunan Ditinjau dari Hubungan Gradasi Butiran Tanah dengan Nilai CBR Rendaman dan Tanpa Rendaman. *Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 20(1), 13-22.
- Kusuma, H., Alkas, M. J., & Sutanto, H. (2022). ANALISIS NILAI CBR CAMPURAN FABA DAN SEMEN SEBAGAI MATERIAL TIMBUNAN PILIHAN. *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 6(1), 1-10.
- Mak'sudah, A. N., Saputro, Y. A., & Rochmanto, D. (2022). Optimalisasi Campuran Fly Ash, Bottom Ash, dan Semen Untuk Lapis Pondasi (Improving Subgrade). *Jurnal Civil Engineering Study*, 2(01), 1-6.
- Mina, E., & Kusuma, R. I. (2016). Pengaruh fly ash terhadap nilai CBR dan sifat-sifat propertis tanah studi kasus: Jalan Raya Bojonegara KM 19 Serang Banten. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2).
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, 2, 1-373.
- Waruwu, A., Zega, O., Rano, D., Panjaitan, B. M. T., & Harefa, S. (2021). Kajian Nilai California Bearing Ratio (CBR) Pada Tanah lempung Lunak Dengan Variasi Tebal

Stabilisasi Menggunakan Abu Vulkanik. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*,
17(2), 116. <https://doi.org/10.25077/jrs.17.2.116-130.2021>

Yuniati, T. (2010). *Perubahan Kandungan Air Terhadap Nilai Pengembangan Pada Tanah Dasar Jalan Penawangan-Purwodadi*. 1–76.