

Pengaruh Stabilisasi Tanah Lunak Menggunakan Kombinasi Fosroc Cebex-100 dan *Fly Ash* Terhadap Nilai CBR

Apta Kania Damayanti⁽¹⁾, Yerry Kahaditu F.⁽²⁾, Himatul Farichah⁽³⁾

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains
Jl. Rungkut Madya No. 1, Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia

Email: ¹aptakaniadamayanti2703@gmail.com, ²yerry.kaha@gmail.com,
³himatul_farichah.ts@upnjatim.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 28 Agustus 2024
Direvisi 03 September 2024
Disetujui 05 September 2024
Dipublikasikan 20 Agustus 2025

Keywords:

California Bearing Ratio (CBR);
Fosroc Cebex-100; *Fly ash*; Soil
Stabilization; Soft Clay Soil

Kata Kunci:

California Bearing Ratio (CBR);
Fosroc Cebex-100; *Fly ash*;
Stabilisasi Tanah; Tanah
Lempung Lunak

Corresponding Author:

Name:
Apta Kania Damayanti
Email:
aptakaniadamayanti2703@gmail.com

Abstract: Soft clay type soil has a low bearing capacity; therefore, a special handling is required by performing soil stabilization. The case study in this research is located in the construction project of Jalan Lingkar Utara (JLU) Lamongan Regency STA 1+000 s/d STA 1+100. The soil stabilization method carried out in this research is using a chemical method that combines fosroc cebex-100 and class C fly ash. 3 variations of the percentage combination of stabilizers used are 20% fly ash + 0.45% fosroc cebex-100 for variation 1, 25% fly ash + 0.45% fosroc cebex-100 for variation 2 and 30% fly ash + 0.45% fosroc cebex-100 for variation 3. The results of this study show that along with the increase in the composition of the combination of stabilizers in the soil can cause an influence on the physical properties of the soil, namely a decrease in the value of water content, specific gravity, Atterberg boundaries, and soil plasticity index. Meanwhile, the mechanical properties of the soil show an increase in the CBR value as the proportion of stabilizers used increases. The original soil CBR value of 5.87% increased to 8.23% in variation 1, to 6.44% in variation 2, and to 6.06% in variation 3.

Abstrak: Tanah berjenis lempung lunak (*soft clay*) memiliki daya dukung yang rendah, maka dari itu diperlukan suatu penanganan khusus dengan melakukan perbaikan (stabilisasi) tanah. Studi kasus dalam penelitian ini terletak pada proyek pembangunan Jalan Lingkar Utara (JLU) Kabupaten Lamongan STA 1+000 s/d STA 1+100. Metode stabilisasi tanah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode kimiawi yang mengkombinasikan fosroc cebex-100 dan *fly ash* kelas C. 3 variasi persentase kombinasi bahan stabilisator yang digunakan yaitu 20% *fly ash* + 0,45% fosroc cebex-100 untuk variasi 1, 25% *fly ash* + 0,45% fosroc cebex-100 untuk variasi 2 dan 30% *fly ash* + 0,45% fosroc cebex-100 untuk variasi 3. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya komposisi kombinasi bahan stabilisator pada tanah

dapat menyebabkan pengaruh terhadap sifat fisis tanah yaitu terjadinya penurunan nilai pada kadar air, berat jenis, batas-batas *atterberg*, dan indeks plastisitas tanah. Sementara itu, pada sifat mekanis tanah menunjukkan adanya peningkatan nilai CBR seiring dengan bertambahnya proporsi bahan stabilisator yang digunakan. Nilai CBR tanah asli yang awalnya sebesar 5,87% meningkat menjadi 8,23% pada variasi 1, menjadi 6,44% pada variasi 2, dan menjadi 6,06% pada variasi 3.

PENDAHULUAN

Konstruksi pembangunan Jalan Lingkar Utara (JLU) Kabupaten Lamongan dimulai dari Desa Rejosari, Kecamatan Deket dan berakhir di Desa Plosowahyu, Kecamatan Lamongan serta terbagi menjadi 2 seksi pekerjaan yaitu, seksi 1 yang dimulai dari STA 0+000 s/d 3+250 dan seksi 2 yang dimulai dari STA 3+250 s/d STA 6+764. Studi kasus pada penelitian ini terletak pada seksi 1 yaitu STA 1+000 s/d STA 1+100 di Desa Rejosari, Kecamatan Deket, Kabupaten Lamongan (Akmizal & Prasetyo, 2020). Hasil investigasi yang telah dilakukan pada wilayah pembangunan tersebut didapatkan bahwa kondisi tanah didominasi oleh tanah lunak, sehingga dilakukan penyelidikan lanjutan dengan melakukan pengujian pada sampel tanah di lokasi tersebut. Hasil analisis pengujian yang didapatkan yaitu tanah di lokasi tersebut memperoleh nilai indeks plastisitas sebesar 25,29%. Apabila nilai indeks plastisitas melebihi 17% (>17%), maka dapat digolongkan sebagai lempung berplastisitas tinggi dan memiliki sifat kohesif (Hardiyatmo, 2017). Tanah yang memiliki plastisitas tinggi tersebut menjadi lebih mudah mengembang serta menyusut (Lapian et al., 2020; Misael et al., 2022). Maka dari hal tersebut, dibutuhkan suatu usaha khusus agar dapat mengatasi permasalahan tersebut yaitu melakukan perbaikan melalui teknik stabilisasi tanah sehingga dapat memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan oleh konstruksi (Darwis, 2017; Putra et al., 2020).

Stabilisasi tanah merupakan proses dalam meningkatkan sifat tanah dengan memperbaiki daya dukung tanah menjadi lebih baik dan kuat dalam mendukung struktur di atasnya (Braja, 1995). Proses stabilisasi tanah dikerjakan dengan mencampurkan tanah dengan bahan tertentu agar karakteristik teknis tanah dapat ditingkatkan dan sesuai dengan standar teknis yang berlaku. Perlakuan ini melibatkan penambahan atau pencampuran tanah dengan jenis tanah lain atau bahan tambahan (additif) (Yusar & Indrastuti, 2022). Penelitian ini menggunakan fosroc cebex-100 dan *fly ash* kelas C yang menjadi bahan stabilisator tanah. Fosroc cebex-100 dipilih karena menurut penelitian yang telah dilakukan oleh (Gaude et al., 2022), penggunaan fosroc cebex-100 jika dikombinasikan dengan semen dapat memberikan peningkatan kualitas pada beton setelah dilakukan pengujian kuat tekan beton serta dapat mengurangi penurunan, penyusutan, dan membantu menjaga stabilitas. Fosroc cebex-100 sendiri merupakan bahan tambahan (*admixture*) berbentuk bubuk yang digunakan dalam campuran beton untuk meningkatkan performa beton dengan mengurangi penyusutan dan meningkatkan kepadatan serta kekuatan pada beton (Fosroc, 2010). Pemilihan *fly ash* kelas C diharapkan dapat menggantikan kegunaan semen, dikarenakan *fly ash* ini juga dikenal sebagai *high-calcium fly ash*, memiliki sifat *pozzolan* dan *self-cementing* yaitu mampu memadat dan memperkuat daya tahan saat berinteraksi dengan air (Ram & Mohanty, 2022). *Fly ash* kelas ini dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi dikarenakan kandungan kalsium oksida (CaO) rendah serta silika (Si) dan alumina (Al) > 50% (Chandra & Firdaus, 2022). Menurut Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia, *fly ash* termasuk kedalam limbah B3, sehingga penggunaan *fly ash* juga sebagai salah satu upaya untuk mengurangi serta memanfaatkan limbah batu bara yang ada di Indonesia (Hendry et al., 2021).

Penelitian ini akan melakukan perbaikan (stabilisasi) lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang memiliki karakteristik sebagai tanah lunak berplastisitas tinggi dan mempunyai daya dukung rendah yang akan digunakan sebagai lokasi pembangunan jalan melalui cara stabilitas kimiawi yaitu dengan mengkombinasikan produk fosroc cebex-100 dan variasi persentase *fly ash* kelas C. Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar pengaruh kombinasi penggunaan fosroc cebex-100 dan variasi persentase campuran *fly ash* kelas C pada tanah lunak diamati dari besarnya nilai pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) laboratorium tanpa dilakukan rendaman.

METODE

Persiapan Sampel Uji

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proyek pembangunan JLU Kabupaten Lamongan, Jawa Timur STA 1+000 s/d 1+100 yang terletak pada Desa Rejosari, Kecamatan Deket. Sampel tanah yang diambil merupakan sampel tanah baik dalam kondisi tak terganggu (*undisturbed*) maupun terganggu (*disturbed*). Lokasi pengambilan sampel tanah digali dengan kedalaman ± 1 meter

terlebih dahulu yang kemudian dilakukan pengambilan tanah sesuai kebutuhan, untuk tanah dengan kondisi tak terganggu (*undisturb*) diambil dengan menggunakan tabung shelby berdiameter ± 3 inch dengan panjang sebesar ± 60 cm, sedangkan untuk tanah dengan kondisi terganggu (*disturbed*) diambil dengan menggunakan cangkul yang kemudian dimasukkan kedalam karung.

Variasi Komposisi Sampel Uji

Variasi komposisi sampel uji terdiri dari tanah asli dan campuran lempung, *fly ash* kelas C dan fosroc cebex-100. Komposisi *fly ash* divariasikan menjadi 3 (tiga), yaitu dengan kadar 20%, kadar 25%, dan kadar 30% sementara untuk kadar fosroc cebex-100 yaitu sebesar 0,45% dari berat *fly ash* di seluruh variasi komposisi. Adapun tabel variasi komposisi campuran bahan stabilisator yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Variasi Komposisi Bahan Stabilisator

No.	Variasi	Komposisi
1.	Tanah Asli	100% Tanah Asli
2.	Variasi 1	<i>Fly ash</i> 20% + fosroc cebex-100 (0,45% dari berat <i>fly ash</i>)
3.	Variasi 2	<i>Fly ash</i> 25% + fosroc cebex-100 (0,45% dari berat <i>fly ash</i>)
4.	Variasi 3	<i>Fly ash</i> 30% + fosroc cebex-100 (0,45% dari berat <i>fly ash</i>)

(Sumber: Hasil Pengujian)

Komposisi tanah yang digunakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan dalam pengujian serta kebutuhan pencampuran bahan stabilisator. Pencampuran bahan stabilisator dilakukan pada saat kondisi kering oven. Sampel tanah, *fly ash* kelas C, dan fosroc cebex-100 yang digunakan merupakan sampel uji yang lolos saringan no. 200.

Pengujian Sampel Uji

Pengujian pada sampel uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah UPN "Veteran" Jawa Timur yang dibedakan menjadi pengujian fisis dan mekanis. Adapun pengujian sifat fisis yang dilakukan terdiri dari, kadar air (*moisture content*) (*w*) yang mengacu pada revisi SNI 03-1965-1990, berat jenis (*specific gravity*) (*g_s*) yang mengacu pada SNI 1966:2008, berat volume (*bulk density*) (*γ*) yang mengacu pada SNI 03-3637-1994, batas cair (*liquid limit test*) (*LL*), yang mengacu pada SNI 1967:2008, batas plastis (*plastic limit test*) (*PL*) yang mengacu pada SNI 1966:2008, indeks plastisitas (*plasticity index*) (*PI*) yang mengacu pada SNI 1966:2008, dan batas susut (*shrinkage limit test*) (*SL*) yang mengacu pada SNI 3422:2008. Sedangkan adapun pengujian sifat mekanis tanah terdiri dari pemadatan (*standard proctor*) yang mengacu pada ASTM D-1586 (1998) dan AASHTO (1982), serta *California Bearing Ratio* (*CBR*) laboratorium yang mengacu pada SNI 1744:2012.

Kriteria Pengujian

Pengujian *California Bearing Ratio* (*CBR*) ialah Rasio antara beban penetrasi yang dihasilkan dalam suatu pengujian dan beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama dalam satuan persen (%) (Utami dkk. 2019). Adapun beban penetrasi yang digunakan adalah penetrasi sedalam 0,1 inch (0,1") (2,54 mm) dengan berat beban standar 3000 lbs (*pound*) atau sekitar 1350 kg dan penetrasi 0,2 inch (0,2") (5,08 mm) dengan berat beban standar 4500 lbs (*pound*) atau sekitar 2025 kg. Nilai *CBR* merupakan rasio antara tekanan yang dibutuhkan untuk menembus tanah menggunakan piston berdiameter 3 inci serta laju penetrasi 0,05 inci per menit, dibandingkan dengan tekanan yang dibutuhkan untuk menembus material standar tertentu. Kekuatan tanah dalam penetrasi tertentu dapat dinyatakan dalam Rumus Persamaan (1) dan (2) SNI 1744:2012)

$$CBR_{0,1"} = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,1" \text{ (lbs)}}{3000 \text{ (lbs)}} \quad (1)$$

$$CBR_{0,2"} = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,2" \text{ (lbs)}}{4500 \text{ (lbs)}} \quad (2)$$

Adapun tabel kriteria nilai *CBR* untuk lapisan tanah dasar (*subgrade*) berdasarkan nilai *CBR* ditunjukkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kriteria Nilai CBR untuk Tanah Dasar (*Subgrade*)

PI (%)	Material	Nilai CBR (%)
<i>Subgrade</i>	<i>Excellent</i>	20–30
	<i>Good</i>	10–20
	<i>Moderate</i>	5–10
	<i>Poor</i>	<5

(Sumber: SNI 1744:2012)

Kandungan Bahan Stabilisator

Fosroc cebex-100 merupakan bahan tambahan berbentuk serbuk dan biasa digunakan untuk melakukan grouting pada beton. Selain itu, juga dapat digunakan sebagai bahan perbaikan struktur tanah. Kandungan yang terdapat pada fosroc cebex-100 terdapat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Kandungan Fosroc Cebex-100

No.	Kandungan	Persentase (%)
1.	Pasir Silika (SiO ₂)	60 – 100
2.	Kalsium Lignosulfonat (C ₂₀ H ₂₄ CaO ₁₀ S ₂)	10 – 30
3.	Serbuk Aluminium (Al)	< 1

(Sumber: Fosroc, 2010)

Sedangkan *fly ash* ialah bahan padat yang termasuk dalam komponen sistem anorganik *geopolymer* (Yusar & Indrastuti, 2022). Material ini bersumber dari sumber alami seperti tanah liat, atau alternatif lainnya yang dapat digunakan yaitu material hasil sampingan seperti *fly ash* dari pembakaran batu bara, yang tergolong sebagai limbah B3, serta *silica fume* dan *rice-husk ash* (Chandra & Firdaus, 2022). *Fly ash* sendiri merupakan abu dari sisa pembakaran batu bara, terdiri dari partikel-partikel halus dengan berat jenis yang rendah (Yusar & Indrastuti, 2022). Umumnya, pengkategorian *fly ash* dikerjakan dengan memperhatikan unsur senyawa kimia (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃), kadar kalsium (CaO), dan kadar karbon (C) didalamnya.

Analisa Hasil Pengujian

Hasil dari pengujian yaitu merupakan hasil analisis dari pengujian yang dilakukan di laboratorium mengenai pengaruh percampuran bahan stabilisator yang terdiri dari *fly ash* kelas C dan fosroc cebex-100, dengan variasi komposisi campuran *fly ash* sebesar 20%, 25%, 30% dan variasi komposisi campuran fosroc cebex-100 sebesar 0,45% dari berat *fly ash* pada sampel tanah lunak (lempung). Adapun sifat-sifat tanah yang dianalisis baik sebelum dicampur bahan stabilisator dan sesudah dicampur bahan stabilisator yaitu sifat fisis dan mekanis tanah. Untuk pengujian CBR dilakukan tanpa melakukan perendaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisis Tanah Asli

Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi sifat dan karakteristik tanah. Hasil pengujian yang dilakukan yang ditunjukkan pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah Asli

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
		Satuan	Tanah Asli
1	Kadar air (W)	%	52,66
2	Berat volume tanah basah (γ_t)	gr/cm ³	1,60
3	Berat jenis (Gs)	-	2,72
4	Batas Atterberg		
	A. Batas Cair (LL)	%	71,75
	B. Batas Plastis (PL)	%	54,00
	C. Indeks Plastisitas (PI)	%	17,75
	D. Batas Susut (SL)	%	42,70

Menurut hasil pengujian pada tabel 4 pengklasifikasian jenis sampel tanah menurut sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) yaitu sampel tanah masuk kedalam kategori kelompok A-7-5 yang ialah tanah lanau-lempung yang mempunyai

kualitas sedang – buruk untuk kategori tanah dasar dikarenakan berdasarkan analisis perhitungan pengelompokan tanah didapatkan hasil yaitu $PI \leq LL - 30$ ($17,75\% \leq 41,75\%$) (Khatab et al., 2022). Sedangkan menurut sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) sampel tanah masuk kedalam kategori MH atau OH sebab memiliki lebih dari 50% ($>50\%$) tanah yang lolos ayakan No.200 (Fahriana et al., 2019). Dari data-data pengujian dapat bahwa sampel tanah tanpa campuran bahan stabilisator masuk kedalam kelompok kategori MH yaitu tanah lempung dan lanau inorganik karena memiliki nilai batas cair dan nilai indeks plastisitas berada dibawah garis “A” (Braja, 1995). Sedangkan untuk hasil pengujian sifat fisis pada sampel tanah asli didapati bahwa tanah asli merupakan tanah lunak berjenis lempung tak organik yang memiliki kadar air tinggi, serta sifat plastisitas yang tinggi (Braja, 1995).

Sifat Mekanis Tanah Asli

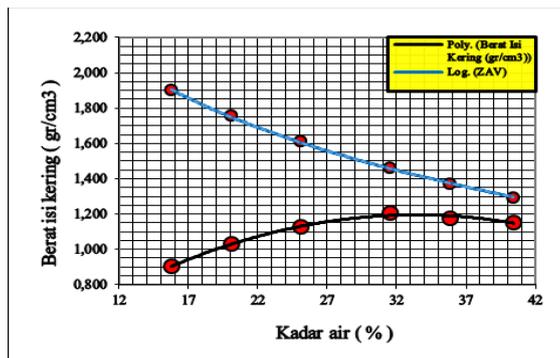
Pengujian yang dilakukan untuk dapat mengetahui sifat mekanis sampel tanah dasar (*subgrade*) yaitu pengujian *Standard Proctor* dan pengujian CBR Laboratorium. Berdasarkan data pengujian berat isi dari hasil pengujian pemadatan *standard proctor*, didapatkan hasil hubungan antara kadar air, nilai berat isi tanah kering (γ_d) dan nilai γ_{ZAV} pada sampel tanah yang dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian *Standard Proctor*

Keterangan	Notasi	Satuan	Hasil		
No. Sampel	-	-	100 ml	200 ml	300 ml
Berat Mould	-	gr	1734,56	1734,56	1734,56
Berat Mould + Tanah Basah	-	gr	2597	2754	2895
Berat Tanah Basah	-	gr	862,44	1019,44	1160,44
Berat Isi Basah	γ_t	gr/cm ³	1,05	1,24	1,41
Berat Isi Kering	γ_d	gr/cm ³	0,9	1,03	1,13
Kadar Air	w	%	15,75	20,1	25,13
ZAV	γ_{ZAV}	gr/cm ³	1,9	1,75	1,61
No. Sampel	-	-	400 ml	500 ml	600 ml
Berat Mould	-	gr	1734,56	1734,56	1734,56
Berat Mould + Tanah Basah	-	gr	3041	3054	3068
Berat Tanah Basah	-	gr	1306,44	1319,44	1333,44
Berat Isi Basah	γ_t	gr/cm ³	1,59	1,6	1,62
Berat Isi Kering	γ_d	gr/cm ³	1,2	1,18	1,15
Kadar Air	w	%	31,55	35,9	40,41
ZAV	γ_{ZAV}	gr/cm ³	1,46	1,37	1,29

(Sumber: Hasil Pengujian)

Berdasarkan hasil pada tabel 5, didapatkan kurva korelasi antara kadar air, berat isi tanah kering (γ_d), dan γ_{ZAV} pada sampel tanah yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut, berdasarkan gambar 1 didapati kadar air optimum sampel tanah sebesar 31,55% pada penambahan air sebesar 400 ml.



Gambar 1. Hubungan antara Kadar Air, Berat Isi Tanah Kering dan γ_{ZAV} . (Sumber: Hasil Pengujian)

Sedangkan untuk hasil pengujian CBR yang telah dilakukan pada sampel tanah asli ditunjukkan pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil pengujian CBR Tanah Asli

No.	Waktu Penetrasi (menit)	Penurunan (Inch)	Pembacaan Arloji Atas	Beban (lb)
1	0,25	0,0125	0,8	26
2	0,5	0,0250	2,1	68
3	1	0,0500	3,2	103
4	1,5	0,7500	5,1	164
5	2	0,1000	6	193
6	3	0,1500	7,9	254
7	4	0,2000	8,2	264
8	6	0,3000	9,2	296
9	8	0,4000	10,8	348
10	10	0,5000	11,8	380

(Sumber: Hasil Pengujian)

Berdasarkan tabel 6 didapatkan hasil nilai CBR tanah asli pada waktu penetrasi 2 menit dengan penurunan 2-inch sebesar 6,44% dan pada waktu penetrasi 4 menit dengan penurunan 4-inch sebesar 5,87%. Adapun nilai CBR yang dipakai adalah pada penetrasi 4 menit sebesar 5,87%.

Sifat Fisis dan Mekanis Tanah dengan Campuran Bahan Stabilisator

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada sifat fisis dan mekanis sampel tanah akibat pengaruh dari penambahan bahan stabilisator. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis pada Tanah dengan Campuran Stabilisator

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian				
		Satuan	Tanah Asli	Tanah + Variasi 1	Tanah + Variasi 2	Tanah + Variasi 3
1	Kadar Air	%	52,66	21,03	19,67	18,93
2	Berat Jenis (Gs)	-	2,72	1,52	1,52	1,46
3	Batas Atterberg					
	A. Batas Cair (LL)	%	71,75	67,47	63,22	61,04
	B. Batas Plastis (PL)	%	54,00	51,37	50,31	49,98
	C. Indeks Plastisitas (PI)	%	17,75	16,10	12,91	11,06
	D. Batas Susut (SL)	%	42,70	40,37	39,70	38,58
4	CBR	%	5,87	8,23	6,44	6,06

(Sumber: Hasil Pengujian)

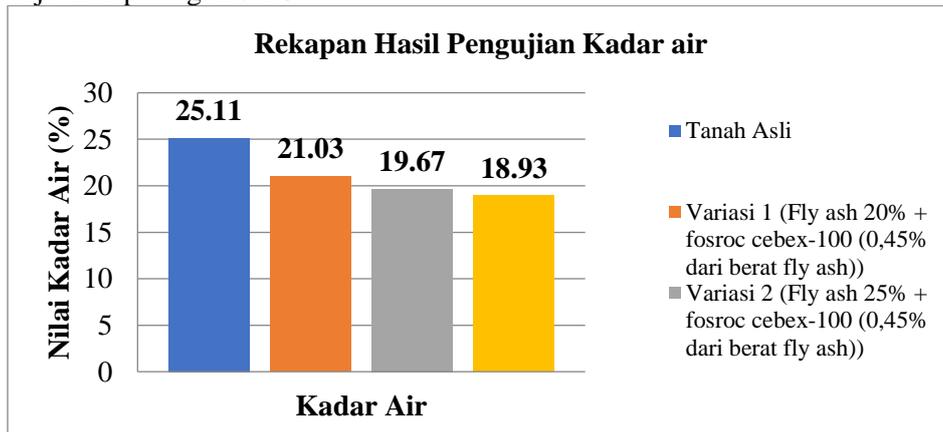
Kadar Air

Terjadi penurunan nilai kadar air akibat stabilisasi yang dilakukan sejalan dengan peningkatan komposisi bahan stabilisator (*fly ash* dan fosroc cebex-100). Penurunan nilai kadar air disebabkan oleh sifat dari bahan stabilisator yang digunakan, yaitu sifat *pozzolan* pada *fly ash* kelas C yang dapat mengikat partikel tanah sehingga ruang pori pada tanah terisi (Nengsih et al., 2022). Selain itu sifat *pozzolan* dalam *fly ash* Kelas C jika berinteraksi dengan air akan bereaksi yaitu melepas energi (panas), sehingga penggabungan dengan bahan tersebut pada sampel tanah akan menyerap air dan dapat menurunkan kandungan air (Ram & Mohanty, 2022). Begitu juga dengan sifat yang dimiliki oleh fosroc cebex-100 yang dapat mengurangi porositas atau ruang pori pada tanah mengakibatkan kadar air pada tanah akan menurun (Nugroho et al., 2022). Rekapitan nilai kadar air ditunjukkan pada gambar 2.

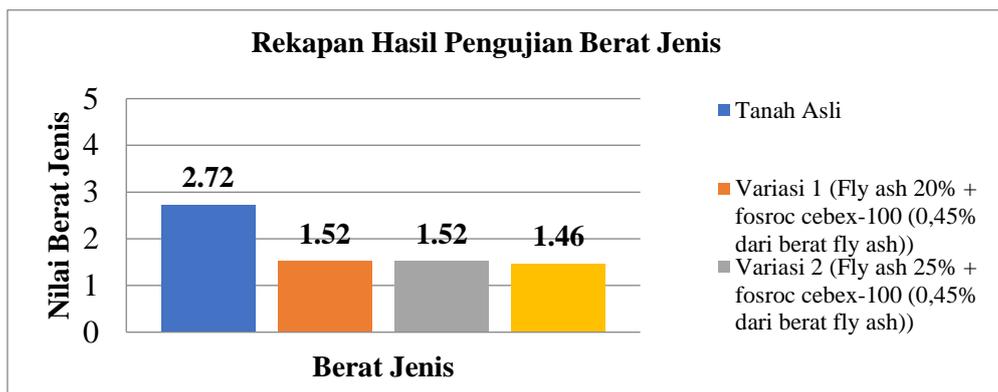
Berat Jenis (*Spesific Gravity*)

Nilai berat jenis mengalami penurunan akibat dari penambahan bahan campuran stabilisator (*fly ash* kelas C dan fosroc cebex-100) dikarenakan bahan stabilisator memiliki nilai berat jenis yang lebih rendah dari partikel tanah alami, penambahan *fly ash* dan fosroc cebex-100 dapat menggantikan partikel tanah yang lebih berat menjadi partikel yang lebih ringan. (Mak'sudah et al., 2023; Ram & Mohanty, 2022). Selain itu terjadinya pengikatan yang sangat

rapat antara tanah dengan campuran bahan stabilisator sehingga mengakibatkan berat dari tanah asli berkurang dan menjadikannya lebih ringan (Sabardiansyah et al., 2022). Rekap nilai berat jenis ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Diagram Rekapan Hasil Pengujian Kadar Air. (Sumber: Hasil Pengujian)



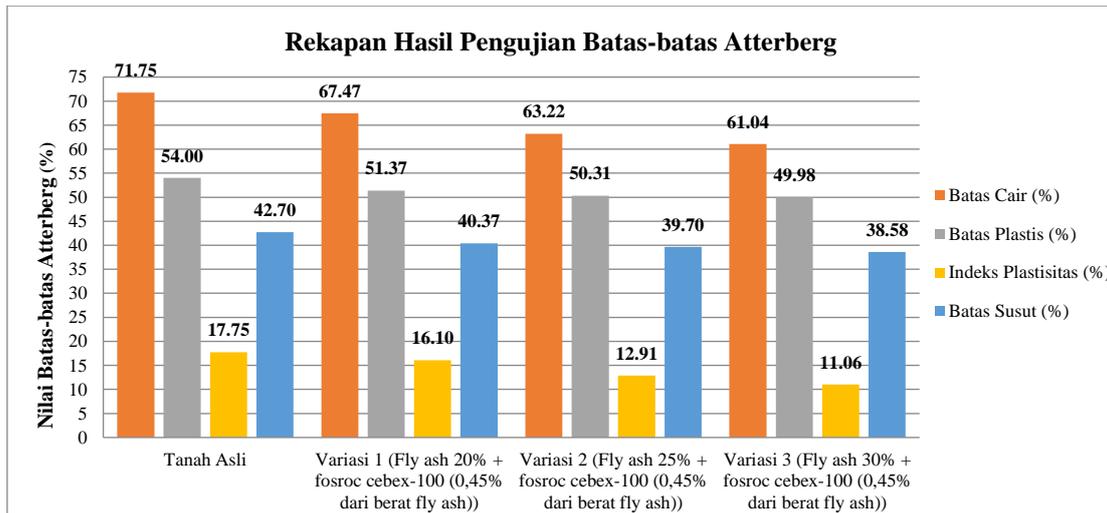
Gambar 3. Diagram Rekapan Hasil Pengujian Berat Jenis. (Sumber: Hasil Pengujian)

Batas-batas Atterberg

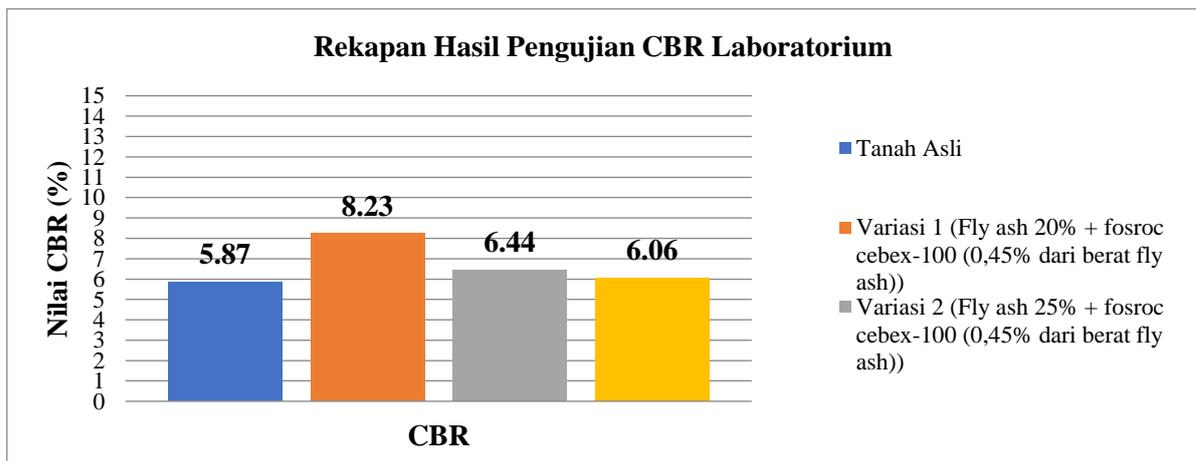
Seiring dengan penambahan komposisi bahan stabilisator pada tanah dapat menyebabkan penurunan nilai kadar air dalam pengujian batas-batas atterberg. Penurunan nilai tersebut disebabkan oleh kandungan kalsium oksida (CaO) pada *fly ash* kelas C yang tinggi bereaksi dengan air dapat mengurangi tingkat plastisitasnya (Ram & Mohanty, 2022). Selain itu, kadar kalsium lignosulfonat ($C_{20}H_{24}CaO_{10}S_2$) pada fosroc cebex-100 yang bereaksi dengan kalsium oksida (CaO) pada *fly ash* mengakibatkan terjadinya reaksi pada air dan tanah sehingga tanah tersebut dapat mengeras dengan cepat dan nilai kadar air menurun (Yusar & Indrastuti, 2022). Rekap nilai batas-batas Atterberg ditunjukkan pada gambar 4.

California Bearing Ratio (CBR) Laboratorium

Nilai CBR mengalami peningkatan adapun peningkatan tersebut pada tanah asli ke variasi 1 (20% *Fly ash* + 0,45% Fosroc Cebex-100) sebesar 40,20% yaitu dari 5,87% ke 8,23%, pada tanah asli ke variasi 2 (25% *Fly ash* + 0,45% Fosroc Cebex-100) sebesar 9,70% yaitu dari 5,87% ke 6,44%, pada tanah asli ke variasi 3 (30% *Fly ash* + 0,45% Fosroc Cebex-100) sebesar 3,20% yaitu dari 5,87% ke 6,06%. Peningkatan nilai CBR disebabkan oleh kadar silika oksida (SiO_2) pada bahan stabilisator (*fly ash* dan fosroc cebex-100) yang bereaksi dengan tanah sehingga dapat menguatkan nilai CBR (Min et al., 2021). Nilai CBR optimum sebesar 8,23% didapatkan dalam pencampuran tanah dengan bahan stabilisator variasi 1 (20% *Fly ash* + 0,45% Fosroc Cebex-100) yang meningkat sebesar 40,20%. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposisi variasi bahan stabilisator 20% *Fly ash* + 0,45% Fosroc Cebex-100 lebih sesuai dengan jenis sampel tanah dasar yang telah diuji, Sehingga mampu menghasilkan performa yang lebih unggul dibandingkan variasi lainnya. Rekap nilai CBR ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Diagram Rekapan Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg. (Sumber: Hasil Pengujian)



Gambar 5. Grafik nilai CBR Sampel Tanah Asli dan Tanah Campuran. (Sumber: Hasil Pengujian)

SIMPULAN

Pengaruh terhadap hasil pengujian sifat fisis dan mekanis pada sampel tanah proyek pembangunan JLU Kabupaten Lamongan STA STA 1+000 – STA 1+100 akibat penambahan kombinasi fosroc cebex-100 dan *fly ash* kelas C yaitu pada pengujian fisis sampel tanah terjadi penurunan nilai kadar air, nilai berat jenis, nilai batas cair, nilai batas-batas *atterberg* seiring dengan bertambahnya komposisi bahan stabilisator. Sedangkan, pada pengujian mekanis terjadi peningkatan nilai CBR seiring dengan bertambahnya komposisi bahan stabilisator dan untuk nilai CBR optimum terdapat pada variasi 1 dengan persentase campuran 20% *fly ash* + 0,45% fosroc cebex-100. Adapun seluruh sampel tanah dengan variasi campuran bahan stabilisator memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar (*subgrade*) lapis bawah pondasi jalan. Saran yang dapat diberikan kepada penelitian berikutnya ialah sebagai berikut, memperbanyak jumlah sample dengan menggunakan persentase variasi kombinasi campuran bahan stabilisator fosroc cebex-100 dan *fly ash* yang lebih beragam serta dapat menggunakan jenis *fly ash* dan fosroc cebex yang berbeda, seperti *fly ash* kelas F dan fosroc cebex-EN agar dapat mengetahui perbandingan serta mendapatkan hasil yang lebih optimum, dapat dilakukan pengujian mekanis lain terhadap sampel tanah seperti pengujian kuat tekan maupun pengujian kuat geser, dapat dilakukan analisis lebih mendalam terhadap ikatan antar senyawa kimia baik yang terkandung didalam sampel tanah maupun didalam bahan stabilisator yang digunakan, dapat dilakukan metode perendaman pada saat pengujian CBR untuk dapat melihat perbandingan dari hasil pengujian.

DAFTAR RUJUKAN

- Akmizal, & Prasetyo, D. Y. (2020). Kajian Pemilihan Fase Rencana Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Dari Segi Lalu Lintas Di Wilayah Perkotaan Lamongan, Jawa Timur. *BINA MARGA*.
- Braja, M. Das. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga.
- Chandra, D., & Firdaus. (2022). Analisa Pengaruh Kehalusan Fly Ash Batubara Terhadap Mutu Beton Geopolymer dari Limbah B3 Dengan Aktivator Potassium. *12(01)*, 101–117.
- Darwis. (2017). *Dasar - Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Imprint Penerbit.
- Fahriana, N., Ismida, Y., Lydia, N. E., & Ariesta, H. (2019). Analisis Klasifikasi Tanah Dengan Metode USCS (Meurandeh Kota Langsa). *Jurnal Ilmiah Jurutera*, *6(2)*, 1–9.
- Fosroc. (2010). *Data Sheet Cebex 100*.
- Gaude, Y., Gupta, Dr. K. G., & Mohan, Er. T. (2022). Evaluation of Fresh State and Mechanical Properties of Cementitious Grouts. *Electronic Letters on Science & Engineering. Electronic Letters on Science & Engineering*, *18(1)*, 1–9.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah 1* (7th ed., Vol. 1). Gadjah Mada University Press.
- Hendry, Rahmawati, R., & Andriani, S. (2021). Stabiilisasi Tanah Lempung Dengan Campuran Fly Ash (FA) dan Expanded Polystyrene (EPS) Sebagai Alternatif Timbunan Ringan Pada Lapisan Subgrade. *POTENSI*, *23(1)*, 41–50.
- Khatab, U., Asnur, H., & Yunita, R. (2022). Klasifikasi Tanah Di Lima Kecamatan Kota Payakumbuh Dengan Sistem AASHTO . *Jurnal Rekayasa*, *12(2)*, 164–174.
- Lapian, P., Irianto, F. E., & Rochmawati, R. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Waktu Curing Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Soil Semen Kapur. *DINTEK*, *13(02)*, 70–74.
- Mak'sudah, N. A., Saputro, A. Y., & Rochmanto, D. (2023). Stabilisasi Campuran Fly Ash, Bottom Ash, dan Semen Terhadap Pengaruh Nilai KUat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test). *Jurnal Konstruksi Dan Infrastruktur*, *11(1)*, 1–8.
- Min, Y., Wu, J., Li, B., & Zhang, J. (2021). Effect of Fly Ash Content on the Strenght Development of Soft Clay Stabilized by One-Part Geopolymer under Curing Stress. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *33(10)*, 1–19.
- Misael, H., Manopo, F. J., & Rondonuwu, S. G. (2022). Analisis Perbaikan Tanah Lunak Dengan Fly Ash Dan Sodium Silikat. *TEKNO*, *20(82)*, 656–662. <https://ejournal.unsrat.ac.id/>
- Nengsih, Sarie, F., & Gandi, S. (2022). Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Campuran Abu Sabut kelapa, Serbuk Batu Bata, dan Semen Portland. *Jurnal Transukma*, *4(2)*, 1–10.
- Nugroho, S. A., Satibi, S., & Raflyatullah, R. (2022). Pengaruh Penggunaan Semen dan Fly Ash Terhadap Nilai CBR Tanah Lempung Muara Fajar. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, *17(3)*, 267. <https://doi.org/10.25077/jrs.17.3.267-278.2021>
- Putra, C. E., Chaidir, D., & Makarim, A. (2020). Analisis Alternatif Perbaikan Tanah Lunak Dan Sangat Lunak Pada Jalan Tol. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, *3(4)*, 1137–1150.
- Ram, K. A., & Mohanty, S. (2022). State of the art review on physiochemical and engineering characteristics of fly ash and its applications. *International Journal of Coal Science & Technology*, *9(9)*, 1–25.
- Sabardiansyah, R., Gusrizal, & Sulaiman, A. R. (2022). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Fly ash Dan Abu Bata Terhadap Nilai California Bearing Ratio. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, *5(1)*, 59–65.
- Yusar, M., & Indrastuti, I. (2022). Effect of Use Fly Ash on Soil Stability in Batam Meisterstadt Project. *Journal of Civil Engineering and Planning*, *3(2)*, 161–168. <https://doi.org/10.37253/jcep.v3i2.730>
- Hangge, E. E., Karels, D. W., & Kapitan, A. O. (2022). Pengaruh Karakteristik Tanah Dasar Terhadap Kerusakan Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana*, *11(2)*, 155–168.
- Standar Nasional Indonesia (Revisi SNI 03-1965-1990). (1990). *Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan*. Badan Standardisasi Nasional.

- Standar Nasional Indonesia (SNI 03-3637-1994). (1994). *Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus dengan Cetakan Benda Uji*. Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 1744:2012). (2012). *Metode Uji CBR Laboratorium*. Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 1966:2008). (2008). *Cara Uji Penentuan Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas Tanah*. Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 6371: 2015). 2015. *Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik Dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah*. Badan Standardisasi Nasional.