

Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dan 20% Kapur Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) Ditinjau dari CBR dan Kuat Tekan Bebas

Derry Williyanda Nasution, Ika Puji Hastuty, Roesyanto, Selfi Anisa

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 26 Oktober 2023
Revisi Akhir: 17 November 2023
Diterbitkan Online: 11 Desember 2023

KATA KUNCI

Tanah lempung; POFA (Palm Oil Fuel Ash);
Kapur Dolomit; CBR; Kuat Tekan Bebas

KORESPONDENSI

Phone: -
E-mail: derryys@usu.ac.id

A B S T R A K

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang kurang baik bila dijadikan tanah dasar karena memiliki daya dukung dan kuat geser yang rendah, namun memiliki tingkat kompresibilitas yang tinggi. Usaha untuk memperbaiki kondisi tanah tersebut dengan stabilisasi. Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah secara kimiawi dengan mencampurkan bahan tambahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) dan Kapur Dolomit (KD). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai *index properties*, nilai CBR Laboratorium, dan nilai kuat tekan bebas (UCT) dari tanah asli setelah penambahan bahan stabilisasi. Persentase bahan stabilisasi yang digunakan adalah POFA sebanyak 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, 20% dan KD sebanyak 20% di setiap variasinya. Berdasarkan hasil penelitian, nilai CBR paling tinggi terjadi pada variasi campuran 12% POFA + 20% KD yaitu sebesar 8,26%. Berdasarkan pengujian Kuat Tekan Bebas, diperoleh nilai kuat tekan tanah (q_u) maksimum dari semua variasi campuran terdapat pada campuran 12% POFA + 20% KD yaitu sebesar 2,945 kg/cm². Oleh karena itu, penggunaan POFA dan KD dinilai mampu meningkatkan stabilisasi tanah lempung.

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang pesat berdampak pada peningkatan kebutuhan lahan. Hal ini mengakibatkan pembangunan di lokasi yang memiliki tanah kurang baik tidak dapat dihindarkan [1]. Tanah merupakan material penting dalam sebuah konstruksi. Kualitas dari sebuah konstruksi akan baik bila didukung oleh tanah dasar yang baik pula [2]. Akan tetapi, tidak semua tanah memenuhi syarat teknis setiap konstruksi. Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang kurang baik dalam konstruksi teknik sipil karena memiliki kuat geser yang rendah namun tingkat kompresibilitas tinggi [3].

Usaha untuk memperbaiki kondisi tanah yang buruk salah satunya dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah merupakan suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah. Tujuannya adalah agar tanah selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan. Stabilisasi tanah dapat dilakukan secara kimiawi, fisik ataupun mekanis [4]. Penelitian terhadap stabilisasi tanah lempung secara kimiawi dengan menggunakan abu tandan sawit (ATS) dan 12% serbuk cangkang telur (SCT) telah dilakukan [5]. Penelitian ini meninjau nilai CBR dan nilai kuat tekan bebas (UCT) pada tanah untuk menguji stabilitas tanah lempung tersebut. Dari hasil penelitian tersebut dinyatakan bahwa pengujian stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan meninjau nilai CBR dan nilai UCT saja. Hasil penelitian ini memiliki nilai CBR dan UCT pada kondisi optimum sebesar 7,83% dan 2,804 kg/cm² dengan campuran tanah asli + 10% ATS + 12% SCT. Hal ini masih perlu ditingkatkan dengan menambahkan bahan stabilisator yang kandungan silikanya lebih tinggi, salah satunya adalah POFA (*Palm Oil Fuel Ash*).

Penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan POFA pada tanah lempung terhadap nilai CBR rendaman, faktor pengembangan dan kuat tekan bebas tanah juga sudah dilakukan [6]. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan

pengaruh dari penambahan POFA dengan variasi 6%, 8%, dan 10% dapat meningkatkan nilai CBR rendaman dengan persentase paling optimum di 10% serta dapat menurunkan nilai pengembangan tanah. Hasil pengujian kuat tekan bebas pada persentase penambahan 6% POFA mengalami penurunan dari tanah asli namun pada persentase 8% dan 10% mengalami peningkatan. Meskipun demikian, penggunaan POFA saja tidak cukup efektif pada stabilisasi tanah lempung karena kandungan kapur (CaO) pada POFA yang rendah. Sehingga, pada penelitian ini juga digunakan KD sebagai bahan tambahan [7].

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya, maka stabilisasi tanah secara kimiawi dengan mencampurkan bahan tambahan yaitu POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) dan Kapur Dolomit (KD) dilakukan pada penelitian ini. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian [5] dimana sifat fisik tanah aslinya bernilai sama. Pengaruh penambahan limbah POFA dan 20% KD terhadap stabilisasi tanah lempung dan campuran optimal terhadap nilai CBR dan kuat tekan bebas dari tanah lempung yang distabilisasi dengan limbah POFA dan 20% KD merupakan tujuan dari penelitian ini.

Persentase penambahan KD yang digunakan pada penelitian ini adalah 20% untuk setiap variasinya. Persentase ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang menguji kuat tekan bebas pada sampel tanah lempung yang distabilisasi menggunakan penambahan KD [8]. Hasilnya, nilai kuat tekan bebas paling tinggi didapat pada campuran 20% KD. Diperkuat juga dengan penelitian [9] yang melakukan pengujian CBR pada tanah lempung yang distabilisasi menggunakan penambahan KD. Berdasarkan penelitian ini, nilai CBR tertinggi didapat pada persentase penambahan 20% KD.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lempung

Tanah lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis [10]. Selanjutnya, dijelaskan bahwa mineral lempung merupakan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm, yang dihasilkan dari pelapukan tanah akibat reaksi kimia. Satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari silika tetrahedron dan alumina oktahedron [11]. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari kombinasi susunan satuan struktur dasar atau tumpukan lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran. Terkait dengan berbagai mineral yang ada pada tanah lempung, penambahan air pada tanah lempung akan mengakibatkan terjadinya interaksi antara air dan mineral pada tanah lempung.

POFA (Palm Oil Fuel Ash)

Limbah dari sawit berupa tandan kosong, sabut, dan cangkang sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan energi mekanik dan panas. Hasil pembakaran limbah tersebut kemudian menghasilkan limbah baru berupa abu limbah kelapa sawit yang sering disebut POFA. Secara visual, POFA berwarna abu-abu tua kehitaman dan memiliki tekstur yang halus. POFA memiliki kandungan utama Silikon dioksida (SiO_2) yang memiliki sifat reaktif dan aktivitas pozzolanik bagus yang bisa bereaksi menjadi bahan yang keras dan kaku [12]. Kandungan unsur kimia yang terkandung dalam POFA dapat dilihat pada Tabel 1.



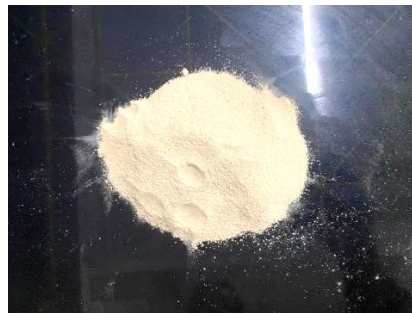
Gambar 1. POFA (*Palm Oil Fuel Ash*)

Tabel 1. Komposisi unsur kimia dalam POFA [13]

No.	Unsur Kimia	Persentase
1	Silikon Dioksida (SiO_2)	64,36%
2	Aluminium Oksida (Al_2O_3)	4,36%
3	Besi Oksida (Fe_2O_3)	3,41%
4	Kalsium Oksida (CaO)	7,92%
5	Magnesium Oksida (MgO)	4,58%
6	Belerang Trioksida (SO_3)	0,04%
7	Kalium Oksida (K_2O)	5,57%

Kapur Dolomit (KD)

Secara visual, Kapur Dolomit (KD) adalah material berwarna putih kekuningan yang memiliki ukuran butir halus sampai sedang. Kapur Dolomit mengandung kalsium oksida (CaO) yang ketika bereaksi dengan air akan berfungsi sebagai material *cementious* dan mengikat partikel tanah [14]. Kapur Dolomit yang dipakai dalam penelitian ini mengandung unsur kimia CaO sebesar 30% dan MgO sebesar 22%.



Gambar 2. Kapur Dolomit

CBR (California Bearing Ratio)

Pengujian CBR bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan material lapis tanah dasar (*subgrade*), pondasi serta material yang didaur ulang untuk perkerasan jalan dan lapangan terbang [15]. Pengujian CBR didefinisikan sebagai perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama [16]. Adapun persamaan untuk menentukan nilai CBR yaitu:

1. CBR pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 13 kN (3000 lbs)

$$CBR\ 0,1" = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{3000} \times 100\% \quad (1)$$

2. CBR pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm dengan beban standar 20 kN (4500 lbs)

$$CBR\ 0,2" = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{4500} \times 100\% \quad (2)$$

Kuat Tekan Bebas (UCT)

Pada material tanah, nilai kuat geser tanah perlu diketahui untuk mengetahui kekuatan tanah menahan tekanan. Kekuatan geser tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut persatuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah [17]. Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah adalah pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test, UCT*). Percobaan kuat tekan bebas di laboratorium dilakukan pada sampel tanah dalam keadaan asli maupun buatan (*remoulded*). Pengujian ini banyak dilakukan dan cocok untuk jenis tanah lempung jenuh karena pembebanan yang cepat sehingga air tidak sempat mengalir ke luar dari benda uji [10]. Tegangan aksial yang diberikan di atas benda uji perlahan-lahan ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan.

Pada saat keruntuhan, karena $\sigma_3 = 0$, maka:

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u \quad (3)$$

dimana:

- τ_f : Kuat geser (kg/cm^2)
- σ_1 : Tegangan utama (kg/cm^2)
- q_u : Kuat tekan bebas tanah (kg/cm^2)
- c_u : Kohesi (kg/cm^2)

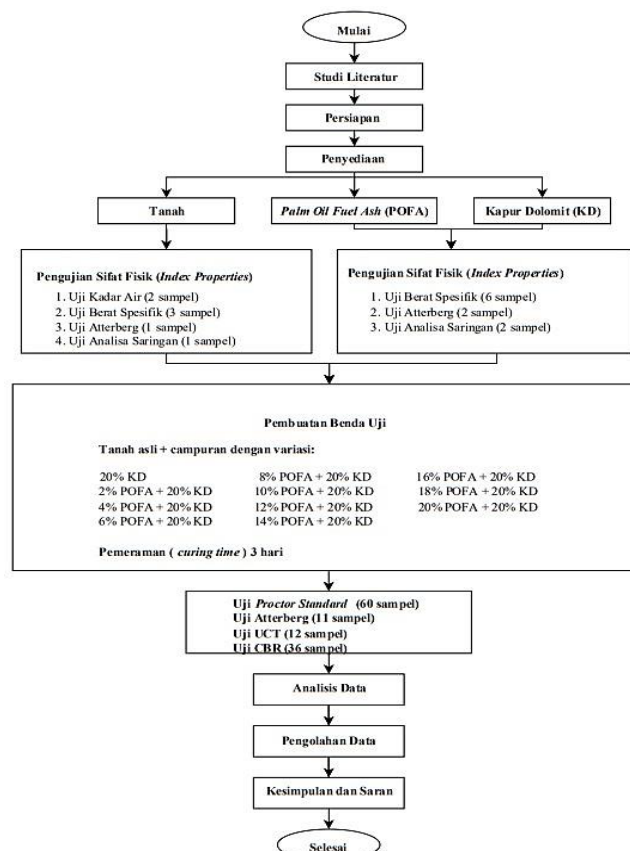
Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan usaha untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tertentu pada tanah agar memenuhi syarat teknis yang diperlukan. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal [18].

Stabilisasi tanah secara kimiawi yang digunakan pada penelitian ini merupakan perbaikan tanah yang dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tertentu pada material tanah. Penambahan tersebut menyebabkan terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru dengan sifat teknis yang lebih baik [4].

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada sampel tanah yang tidak ditambahkan bahan stabilisasi dan pada tanah yang distabilisasi dengan bahan kimiawi berupa penambahan POFA dan KD dengan berbagai variasi yang telah ditentukan. Sampel tanah lempung yang diambil adalah jenis tanah terganggu (*disturbed*). Pengambilan sampel tanah *disturbed* dilakukan dengan penggalian menggunakan cangkul, lalu tanah dimasukkan ke dalam karung. Pada pengujian kuat tekan bebas, tanah asli diambil dari tanah *undisturbed* dengan menggunakan alat pengeluar sampel tanah dari tabung.



Gambar 2. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya [5]. Oleh karena itu pengujian yang dilakukan pada tanah asli sebelum penambahan bahan stabilisator dirujuk pada penelitian tersebut.

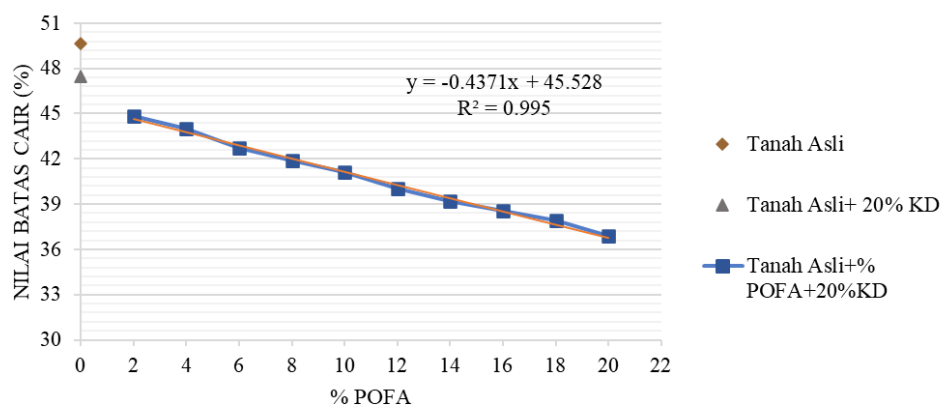
Sifat Fisik Tanah

Pengujian ini dilakukan terhadap tanah asli dan tanah asli yang sudah ditambahkan bahan stabilisator. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi yang ditentukan terhadap batas-batas Atterberg.

Tabel 2. Data hasil pengujian batas-batas Atterberg

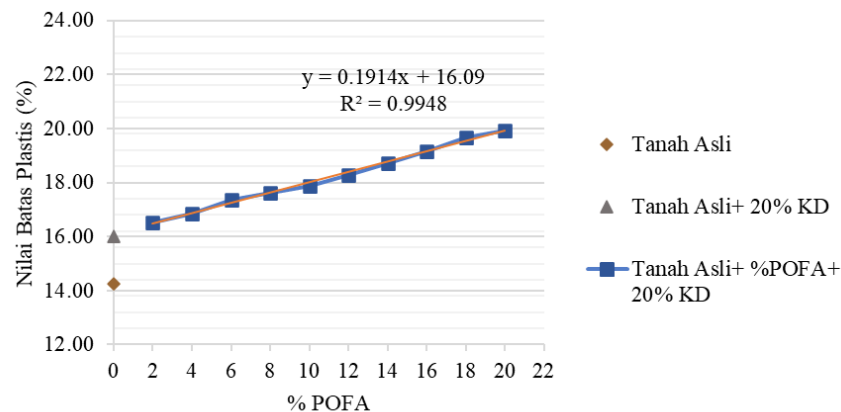
Sampel	Atterberg Limit		
	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Tanah Asli [5]	49,63	14,24	35,39
Tanah asli + 20%KD	47,46	15,99	29,15
Tanah asli + 2%POFA + 20%KD	44,87	16,51	28,36
Tanah asli + 4%POFA + 20%KD	43,98	16,84	27,13
Tanah asli + 6%POFA + 20%KD	42,72	17,36	25,36
Tanah asli + 8%POFA + 20%KD	41,91	17,62	24,28
Tanah asli + 10%POFA + 20%KD	41,12	17,87	23,25
Tanah asli + 12%POFA + 20%KD	40,04	18,29	21,75
Tanah asli + 14%POFA + 20%KD	39,21	18,72	20,49
Tanah asli + 16%POFA + 20%KD	38,53	19,14	19,39
Tanah asli + 18%POFA + 20%KD	37,94	19,67	18,27
Tanah asli + 20%POFA + 20%KD	36,87	19,93	16,94

Hubungan antara nilai batas cair (LL) dengan variasi campuran diberikan pada Gambar 4, yang menunjukkan bahwa dengan penambahan POFA dan KD mengakibatkan penurunan pada nilai batas cair (LL) tanah. Penurunan ini terjadi karena tanah mengalami proses sementasi oleh POFA dan KD yang membuat tanah mengeras dengan cepat.



Gambar 4. Grafik pengaruh penambahan POFA dan KD terhadap nilai batas cair

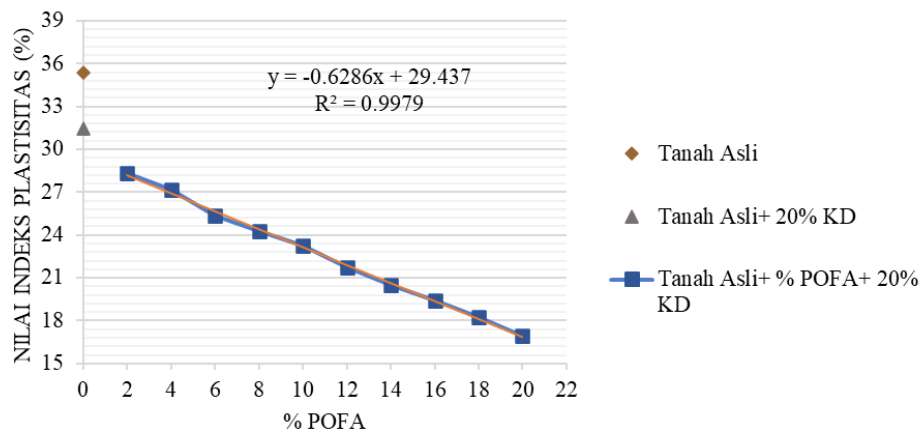
Hubungan antara nilai batas plastis (PL) dengan variasi campuran diberikan pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa penambahan POFA dan KD mengakibatkan peningkatan pada nilai batas plastis (PL) tanah. Peningkatan penambahan bahan campuran ini menyebabkan tanah membutuhkan lebih banyak air untuk mempertahankan keplastisannya.



Gambar 5. Grafik pengaruh penambahan POFA dan KD terhadap nilai batas plastis

Hubungan antara nilai Indeks plastisitas (IP) dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 6. Dapat dilihat bahwa dengan menambahkan bahan stabilisasi pada tanah asli, maka indeks plastisitas akan menurun. Penurunan nilai indeks plastisitas ini, dapat mengurangi potensi kembang dan susut dari tanah. Hal ini diakibatkan karena adanya proses hidrasi POFA dan KD yang ditambahkan ke tanah. Proses ini memperkuat ikatan antara partikel-partikel tanah sehingga terbentuk butiran yang lebih keras dan stabil. Pori-pori tanah yang terisi akan memperkecil terjadinya rembesan pada campuran tanah dengan campuran POFA dan KD sehingga hal ini akan mengurangi potensi kembang-susut.

Selain itu, Silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dari POFA yang bercampur dengan air akan membentuk pasta yang mengikat partikel lempung dan menutupi pori-pori tanah. Rongga-rongga pori yang dikelilingi bahan sementasi yang lebih sulit ditembus air akan membuat campuran tanah dan POFA lebih tahan terhadap penyerapan air sehingga menurunkan sifat plastisitasnya.



Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan POFA dan KD terhadap nilai indeks plastisitas

Pemadatan Tanah (Compaction)

Hasil pengujian pemadatan tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi ditunjukkan pada Tabel 3. Sedangkan grafik hubungan antara nilai berat isi kering maksimum dengan variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 7, dimana nilai berat isi kering semakin meningkat seiring dengan penambahan persentase campuran POFA dan KD. Berat isi kering maksimum terbesar terjadi pada penambahan 20% KD+ 12% POFA yakni sebesar $1,691 \text{ gr/m}^3$, namun mengalami penurunan pada variasi selanjutnya.

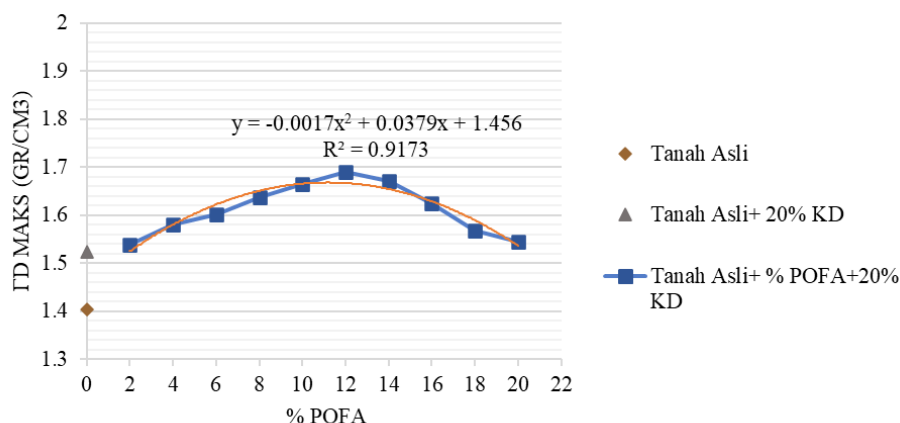
Peningkatan berat isi kering tanah terjadi karena POFA dan KD mengisi rongga pori tanah, yang pada kondisi tanah asli, rongga pori tersebut terisi oleh air dan udara. Peningkatan jumlah partikel padat pada tanah berdampak pada peningkatan berat volume keringnya. Selain itu, hal ini juga disebabkan oleh adanya reaksi *pozzolanic* yang semakin meningkat karena

senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang bertambah dari POFA. Proses pozzolan terjadi antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat (SiO_2) dan aluminat (Al_2O_3) dari POFA dan membentuk material pengikat yang terdiri dari kalsium silikat atau aluminat silikat. Reaksi dari ion Ca^{2+} dengan silikat (SiO_2) dan aluminat (Al_2O_3) dari permukaan partikel lempung membentuk pasta (*hydrated gel*) sehingga mengikat partikel-partikel tanah lempung.

Penurunan berat isi kering tanah pada variasi penambahan 14% POFA+ 20% KD ke atas terjadi karena tanah telah melewati penambahan efektif bahan stabilisator. Jumlah bahan stabilisator yang semakin bertambah akan membuat kemampuan mengikatnya berkurang sehingga akan memperkecil lekatan antar butiran pada tanah dan air sehingga tanah menjadi mudah pecah.

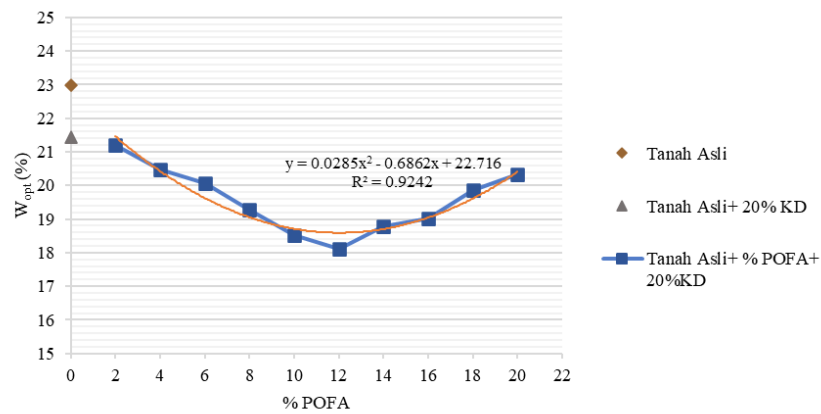
Tabel 3. Data hasil pengujian pemadatan tanah asli dengan tambahan POFA dan KD

Sampel	Compaction	
	γ_d maks (gr/cm^3)	W_{opt} (%)
Tanah Asli [5]	1,403	22,99
Tanah asli + 20%KD	1,524	21,43
Tanah asli + 2%POFA + 20%KD	1,538	21,2
Tanah asli + 4%POFA + 20%KD	1,58	20,47
Tanah asli + 6%POFA + 20%KD	1,602	20,08
Tanah asli + 8%POFA + 20%KD	1,637	19,27
Tanah asli + 10%POFA + 20%KD	1,665	18,51
Tanah asli + 12%POFA + 20%KD	1,691	18,12
Tanah asli + 14%POFA + 20%KD	1,672	18,78
Tanah asli + 16%POFA + 20%KD	1,624	19,01
Tanah asli + 18%POFA + 20%KD	1,568	19,86
Tanah asli + 20%POFA + 20%KD	1,544	20,34



Gambar 7. Grafik hubungan nilai berat isi kering maksimum dengan variasi campuran

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa kadar air optimum tanah semakin menurun seiring bertambahnya bahan stabilisator. Kadar air optimum paling kecil terjadi pada penambahan 12% POFA+ 20% KD, namun mengalami peningkatan pada persentase variasi berikutnya. Penurunan kadar air optimum terjadi karena penambahan bahan stabilisator menyebabkan campuran membutuhkan kadar air yang lebih banyak untuk saling berikatan. Kenaikan kadar air optimum dikarenakan tanah telah melewati penambahan efektif bahan stabilisator.



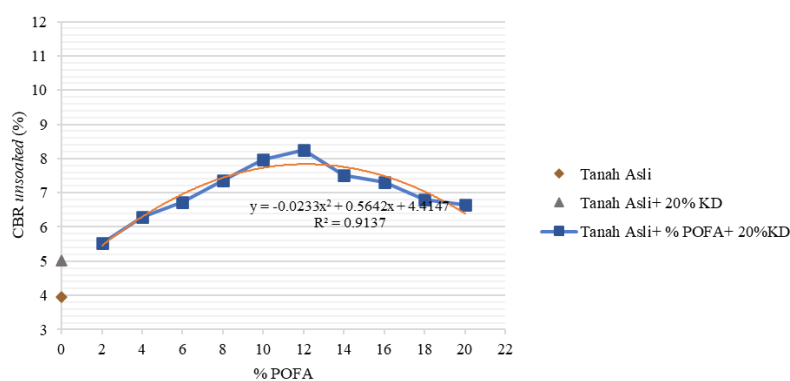
Gambar 8. Grafik hubungan nilai kadar air optimum

Nilai CBR (California Bearing Ratio)

Hasil dari pengujian ini adalah nilai CBR Laboratorium tak terendam (*unsoaked*) dengan waktu pemeraman selama 3 hari. Nilai CBR ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 9.

Tabel 4. Data hasil pengujian CBR tidak terendam (*unsoaked*)

Sampel	γ_d maks (gr/cm^3)	W_{opt} (%)	CBR <i>Unsoaked</i> (%)
Tanah Asli [5]	1,403	22,99	3,94
Tanah asli +20%KD	1,524	21,43	5,03
Tanah asli +2%POFA +20%KD	1,538	21,2	5,52
Tanah asli +4%POFA +20%KD	1,58	20,47	6,28
Tanah asli +6%POFA +20%KD	1,602	20,08	6,72
Tanah asli +8%POFA +20%KD	1,637	19,27	7,37
Tanah asli +10%POFA + 20% KD	1,665	18,51	7,98
Tanah asli +12%POFA +20%KD	1,691	18,12	8,26
Tanah asli +14%POFA +20%KD	1,672	18,78	7,52
Tanah asli +16%POFA +20%KD	1,624	19,01	7,31
Tanah asli +18%POFA +20%KD	1,568	19,86	6,79
Tanah asli +20%POFA +20%KD	1,544	20,34	6,64

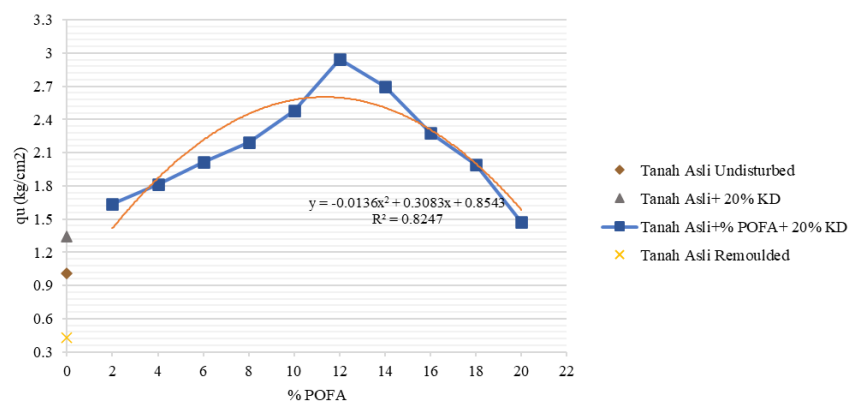


Gambar 9. Grafik hubungan nilai CBR dengan variasi campuran

Dari Gambar 9 dapat dilihat setelah penambahan campuran POFA dan KD nilai CBR terus meningkat sampai ke variasi campuran 20% KD+ 12% POFA yaitu sebesar 8,26% lalu menurun di variasi campuran berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa persen penambahan stabilisator akan meningkatkan nilai CBR tanah, karena bahan stabilisasi sudah mengisi rongga-rongga kosong partikel tanah yang sebelumnya diisi oleh air dan udara sehingga meningkatkan nilai penetrasi pada pengujian CBR. Penambahan stabilisator juga meningkatkan kemampuan saling mengunci antar butiran sehingga menaikkan nilai CBR. Sedangkan penurunan nilai CBR terjadi karena tanah telah melewati penambahan efektif bahan stabilisator yaitu sebesar 20% KD + 12% POFA. Jumlah bahan stabilisator yang semakin bertambah terhadap berat tanah asli akan membuat kemampuan mengikatnya berkurang sehingga akan memperkecil ikatan antar butiran pada tanah dan air sehingga tanah menjadi mudah pecah dan nilai CBR menurun.

Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test)

Hasil dari uji kuat tekan bebas yang diperoleh adalah nilai q_u dan nilai kuat geser (c_u) pada setiap variasi campuran yang dapat dilihat pada Gambar 10 dan Tabel 5.



Gambar 10. Grafik nilai kuat tekan bebas

Tabel 5. Data hasil pengujian kuat tekan bebas

Sampel	q_u (kg/cm ²)	c_u (kg/cm ²)
Tanah Asli [5]	1,007	0,5035
Remoulded [5]	0,425	0,2125
Tanah asli+20% KD	1,341	0,6705
Tanah asli + 2%POFA + 20%KD	1,638	0,819
Tanah asli + 4%POFA + 20%KD	1,816	0,908
Tanah asli + 6%POFA + 20%KD	2,014	1,007
Tanah asli + 8%POFA + 20%KD	2,192	1,096
Tanah asli + 10%POFA + 20%KD	2,48	1,24
Tanah asli + 12%POFA + 20%KD	2,945	1,4725
Tanah asli + 14%POFA + 20%KD	2,694	1,347
Tanah asli + 16%POFA + 20%KD	2,281	1,1405
Tanah asli + 18%POFA + 20%KD	1,992	0,996
Tanah asli + 20%POFA + 20%KD	1,477	0,7385

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai q_u meningkat seiring bertambahnya bahan stabilisator. Nilai q_u paling tinggi terjadi pada campuran 12% POFA+ 20% KD yaitu 2,945 kg/cm², namun nilai q_u menurun pada variasi campuran selanjutnya. Kenaikan nilai q_u disebabkan oleh reaksi sementasi yang terjadi pada campuran tanah dan bahan stabilisasi yang membentuk butiran baru yang lebih keras sehingga lebih kuat menahan beban yang diberikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian CBR dan Kuat Tekan Bebas dapat dilihat bahwa bahan tambahan stabilisator POFA dan KD mampu meningkatkan daya dukung tanah asli. Campuran bahan stabilisator paling efektif terdapat pada penambahan 12% POFA +20% KD, yang mana terjadi peningkatan nilai CBR sebesar 109,6% dan peningkatan nilai kuat tekat bebas sebesar 192,4%, namun pada penambahan variasi bahan stabilisator berikutnya nilai CBR dan nilai kuat tekan bebas menurun. Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [5], penambahan campuran ini memiliki nilai CBR dan kuat tekan bebas lebih besar pada kondisi optimumnya. Namun, apabila dilihat dari banyaknya bahan tambahan yang digunakan, penelitian ini membutuhkan lebih banyak kuantitas bahan stabilisatornya 12% POFA + 20% KD dibandingkan dengan penelitian sebelumnya 10% ATS + 12% SCT. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pengujian CBR dan kuat tekan bebas dengan bahan tambahan stabilisator POFA dengan SCT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wibowo, D. E., Rahmadiano, H. W., & Endaryanta, E. (2021). Usaha Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung Menggunakan Layer Krikil, Anyaman Bambu dan Kombinasi Kolom-Layer Pasir. *INERSIA: LNformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 17(1), 47–56. <https://doi.org/10.21831/inersia.v17i1.40629>.
- [2] Sumarno, A., Prasetyo, A. M., Akbar, F., Widodo, E., Triastuti, T., Maidina, M., Nugroho, A., Budiman, I., & Subiyanto, B. (2021). Pemanfaatan Limbah Spent Bleaching Earth pada Stabilisasi Tanah Lempung dengan Clean Set Cement. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 104–110. <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i1.4125>
- [3] Panjaitan, N. (2017). Pengaruh Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung. *Jurnal Education Building*, 3, 1–7.
- [4] Panguriseng, D. (2017). Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah. *Pustaka AQ, Agustus*, 240.
- [5] Harahap, M. P. S., Nasution, D. W., Hastuty, I. P., Roesyanto, Nuraliman, Anisa. (2023). Pengaruh Penambahan Abu Tandan Sawit dan 12% Serbuk Cangkang Telur Terhadap Stabilisasi Tanah Lempung Ditinjau Dari Nilai CBR dan UCT. *Jurnal Blend Sains*, Vol. 2 No. 2, 156-167. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i2.328>
- [6] Fadillah, Y., Kamil, I., & Suroso, P. (2021). Stabilisasi Tanah Lempung dengan Abu Cangkang Kelapa Sawit. *SNITT-Politeknik Negeri Balikpapan*, 139–145.
- [7] An, C., Fatnanta, F., & Muhandi. (2015). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA). *JOM FTEKNIK*, 2(1), 1–13.
- [8] Bharathi, A. M., Ravichandran, P. T., & Krishnan, K. D. (2019). Potential use of dolomite hydrated lime in sustainable strength improvement of clayey soil. *Journal of Green Engineering*, 9(4), 489–501.
- [9] Daulay, A. M., Sarifah, J., Pasaribu, B., & Lukman, A. (2022). Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Kapur Dolomit terhadap Nilai CBR Tanah. 30–35.
- [10] Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah 1* (7th ed.). Gadjah Mada University Press.
- [11] Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1. In *Penerbit Erlangga*.
- [12] Dwina, D. O., Nazarudin, N., Alfernando, O., Kumalasari, D., & Nofrina, T. (2022). Pengolahan POFA (Palm Oil Fuel Ash) dan Semen Sebagai Material Alternatif Timbunan Pilihan Jalan Untuk Perbaikan Infrastruktur Jalan. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 78. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v0i0.13734>
- [13] Yuliana, R., Muhandi, & Fatnanta, F. (2014). Karakteristik Fisis Dan Mekanis Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash) Dalam Geoteknik. *Jurnal Online Mahasiswa*, 1.
- [14] Golakiya, H. D., & Savani, C. D. (2015). Studies on Geotechnical Properties of Black Cotton Soil Stabilized With Furnace Dust and Dolomitic Lime. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 02(08), 810–823.
- [15] SNI 1744 (2012). Metode uji CBR laboratorium. In *Standar Nasional Indonesia, Badan Standarisasi Nasional* (pp. 1–28).
- [16] Soedarmo, G. D., & Purnomo, S. J. E. (1993). Mekanika Tanah 1. In *Penerbit Kanisius*.
- [17] Das, B. M. (1985). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2. In *Penerbit Erlangga*.
- [18] Punmia, B. . (2017). Soil Mechanics and Foundations. In *Laxmi Publications (P) Ltd*.