

Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Palm Oil Fuel Ash (POFA) terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung

Fathin Jufrimal^{1),*)}, Indah Fajria Muharani²⁾, Megah Ultari³⁾, Rayhan Maghensky⁴⁾, Nugraha Seftyan Jody⁵⁾, dan Annisa Kushandayani⁶⁾

^{1), 2), 3), 4), 5), 6) *)}Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung, INDONESIA

*Corresponding authors: fathinjufrimal@gmail.com

Diserahkan 19 Agustus 2024. Direvisi 03 Maret 2025. Diterima 06 Juni 2025

ABSTRAK: Di Indonesia penyebaran tanah lunak luasnya diperkirakan sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan Indonesia. Tanah lempung lunak umumnya memiliki nilai kuat geser rendah, untuk itu diperlukan stabilisasi tanah guna memperbaiki sifat tanah tersebut sehingga memenuhi persyaratan kekuatan tanah. Penelitian ini melakukan stabilisasi tanah dengan menambahkan bahan tambah berupa *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). POFA merupakan hasil dari pembakaran cangkang kelapa sawit pada suhu 700°C hingga 900°C. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tanah lempung di Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas dan menganalisis nilai kuat tekan bebas (UCST) tanah asli dan campuran dengan POFA. Penelitian ini meliputi uji *Atterberg*, kuat tekan bebas dan kompaksi tanah asli dan dengan campuran POFA pada kadar 4%, 12%, dan 16%. Untuk pengujian UCST sampel diuji setelah pemeraman tujuh hari, dengan separuh diuji langsung (*unsoaked*) dan separuh direndam empat hari sebelum diuji (*soaked*). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kadar POFA meningkatkan nilai UCST dan kuat geser tanah. Untuk *unsoaked*, nilai q_u berkisar antara 0,582 hingga 1,600 kg/cm², dan untuk *soaked* adalah 0,557 hingga 1,422 kg/cm². Nilai kuat geser (C_u) juga meningkat seiring dengan penambahan POFA, sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Rama dkk, (2015).

KATA KUNCI: Lempung, POFA, Perbaikan, Tanah

ABSTRACT: *The distribution of soft soils in Indonesia is estimated to cover around 20 million hectares, or about 10 percent of Indonesia's total land area. Soft clay soils generally have low shear strength, necessitating soil stabilization to improve their properties so that they meet the required strength criteria. This study conducted soil stabilization by adding Palm Oil Fuel Ash (POFA) as an additive. POFA is the result of burning palm kernel shells at temperatures between 700°C and 900°C. The aim of this research is to identify clay soils in the Civil Engineering Department of Andalas University and to analyze the unconfined compressive strength (UCST) of the original soil and the mixture with POFA. The research includes Atterberg limit tests, unconfined compressive strength tests, and compaction tests on the original soil and soil mixed with POFA at concentrations of 4%, 12%, and 16%. For the UCST tests, samples were tested after a seven-day curing period, with half of the samples tested directly (*unsoaked*) and the other half soaked for four days before testing. The results showed that increasing POFA content increased the UCST and shear strength of the soil. For *unsoaked* samples, the q_u values ranged from 0.582 to 1.600 kg/cm², and for *soaked* samples, they ranged from 0.557 to 1.422 kg/cm². The shear strength (C_u) values also increased with the addition of POFA, consistent with previous research by Rama et al, (2015).*

KEYWORDS: *Clay, Improvement, POFA, Soil*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus berlangsung seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi yang pesat. Proyek-proyek pembangunan yang meliputi pembangunan jalan, jembatan, dan bangunan umum sering kali menghadapi berbagai tantangan teknis di lapangan. Salah satu masalah yang umum dihadapi adalah kondisi tanah yang tidak stabil atau kurang sesuai, yang dapat mempengaruhi keberhasilan dan keamanan struktur yang dibangun.

Dalam konteks ini, masalah tanah lunak menjadi perhatian khusus. Tanah lunak, yang sering ditemukan di berbagai lokasi pembangunan memiliki karakteristik yang dapat menyebabkan masalah seperti penurunan kekuatan geser, deformasi berlebihan, dan ketidakstabilan struktur jika tidak ditangani dengan tepat (Haras, A.E. dan Legrans, 2017; Ningrum et al., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan strategi mitigasi bagi tanah lunak agar tidak mengalami kegagalan dalam pembangunan. Salah satu pendekatan yang digunakan yaitu dengan meningkatkan daya dukung pada tanah lunak.

Peningkatan daya dukung tanah dilakukan dengan meningkatkan kuat geser tanah lempung melalui penambahan bahan tambah, seperti semen, kapur, abu cangkang kelapa sawit, dan bahan tambah lainnya. Bahan tambah ini digunakan untuk mengatasi salah satu kekurangan tanah lempung, yaitu kecenderungannya untuk mengembang saat pori-pori tanah terisi air dan menyusut dalam kondisi kering (Walewangko, Sompie dan Sumampouw, 2020). Penelitian ini berfokus pada penambahan abu cangkang kelapa sawit atau palm oil fuel ash yang dikenal sebagai POFA. Adapun sampel tanah lempung diambil dari Kel. Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang. Berikut Tabel 1 komposisi hasil pembakaran cangkang kelapa sawit (Sarifah dan Pasaribu, 2017).

Tabel 1. Komposisi pembakaran cangkang kelapa sawit

Parameter	Hasil (%)	Metode Uji
K ₂ O (Kalium)	7,40	SNI 02.2803.2000
MgO (Magnesium)	3,19	SNI 02.2804.2000
CaO (Calcium)	5,32	SNI 02.2804.2000
SiO ₂ (Silika)	52,2	SNI 02.2804.2000

Sumber : Sarifah, 2017

2. METODE PENELITIAN

Metode dan tahapan dalam penelitian ini adalah pengadaan POFA, pengambilan sampel tanah dan pengujian sampel tanah di laboratorium (Tabel 2).

Tabel 2. Jumlah sampel

No.	Pengujian	Jumlah Sampel
1	Kadar Air	1
2	Berat Isi	1
3	Berat Jenis	1
4	Analisa Saringan	1
5	Liquid Limit	5
6	Plastic Limit	5
7	Uji Pematatan	35
8	UCST	10

POFA yang digunakan berasal dari sisa pembakaran cangkang kelapa sawit dari PT Family Raya di daerah Gurun Laweh Padang. Kemudian disaring dengan saringan 200 dan digunakan sebagai bahan stabilisasi. Sedangkan sampel tanah yang digunakan merupakan sampel tanah terganggu yang diambil di daerah kampus Universitas Andalas Padang. Pada tabel 1 komposisi POFA berdasarkan ASTM C618 2001 termasuk ke dalam Pozzolan kelas F dengan Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran.

2.1. Pengujian Laboratorium

Sampel tanah yang sudah kering udara dan lolos saringan nomor 4 dicampurkan dengan bahan stabilisasi POFA dengan masing-masing variasi yaitu 4%, 8%, 12% dan 16%. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM D-689 method A untuk kompaksi, ASTM D-2166-89 untuk UCS, dan ASTM D-4318-89, ASTM D-427-89 untuk pengujian batas-batas Atterberg.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Fisik dan Mekanis

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap tanah asli, diperoleh nilai sebagai berikut pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian indeks *properties* tanah

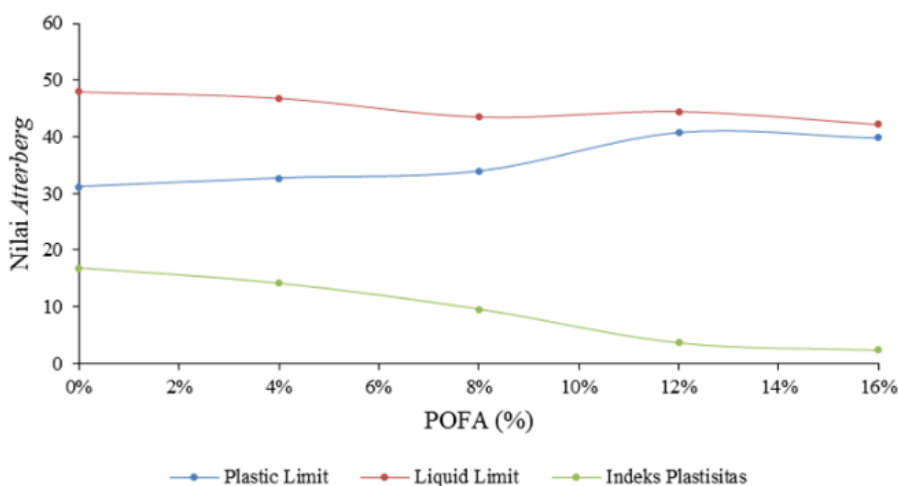
No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan
1	Kadar Air	8,374	%
2	Berat Isi	1,288	gr/cm ³
3	Berat Jenis	2,589	
4	Analisa Saringan		
	a. Lolos saringan no.10	96,970	%
	b. Lolos saringan no.40	93,200	%
	c. Lolos saringan no.200	85,770	%
5	Atterberg Limit		
	a. Batas Cair	47,942	%
	b. Batas Plastis	31,161	%
	c. Indeks Plastisitas	16,781	%

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap tanah asli yang dicampur POFA dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil pengujian tanah campuran

Variasi	Atterberg Limit			Pemadatan	
	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Berat Isi Kering Maksimum (g/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)
Tanah Asli	47,942	31,161	16,781	1,272	36,989
Tanah Asli (96%) + POFA (4%)	46,813	32,708	14,105	1,301	35,932
Tanah Asli (92%) + POFA (8%)	43,506	33,928	9,578	1,316	33,564
Tanah Asli (88%) + POFA (12%)	44,481	40,793	3,688	1,325	31,804
Tanah Asli (84%) + POFA (16%)	42,184	39,794	2,390	1,331	29,792

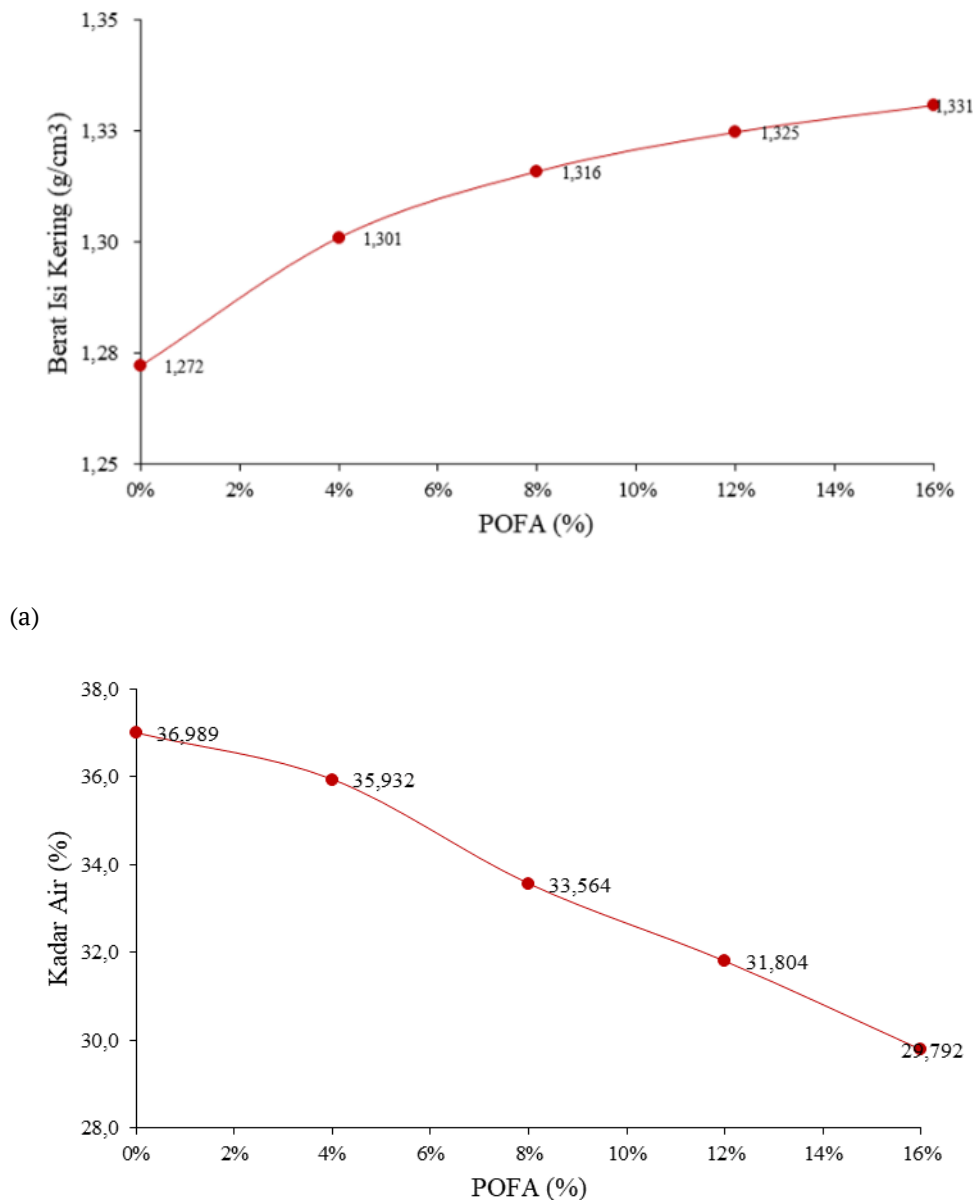
Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa dengan meningkatkan kadar POFA dalam campuran tanah dapat menurunkan indeks *Liquid Limit* dan meningkatkan nilai *Plastic Limit*. Sehingga Indeks Plastisitas pada tanah menurun akibat terbentuknya pasta yang menyelimuti partikel lempung serta tertutupnya pori-pori tanah menyebabkan air sulit meresap ke dalam campuran tanah dengan POFA (Anggraini dan Saleh, 2021; Empung, 2023).



Gambar 1. Hasil uji Atterberg vs penambahan POFA

Penambahan POFA juga mempengaruhi nilai pemadatan tanah, dimana turunnya kadar air optimum, dan meningkatnya berat isi kering maksimum per penambahan persentase POFA. Dengan pencampuran POFA pada tanah mengakibatkan terisinya rongga-rongga udara sehingga sampel tersebut menjadi padat. Meningkatnya nilai berat isi kering sampel maka

kadar air dalam sampel tersebut menjadi turun (Hidayatussa'diah, Yayuk dan Fahrani, 2020). Karakteristik pengaruh terhadap nilai pemadatan tanah tersebut digambarkan pada Gambar 2.



(b) Gambar 2. Grafik pemadatan tanah (a) berat isi kering (b) kadar air optimum, pada setiap variasi POFA

3.2. Klasifikasi Tanah

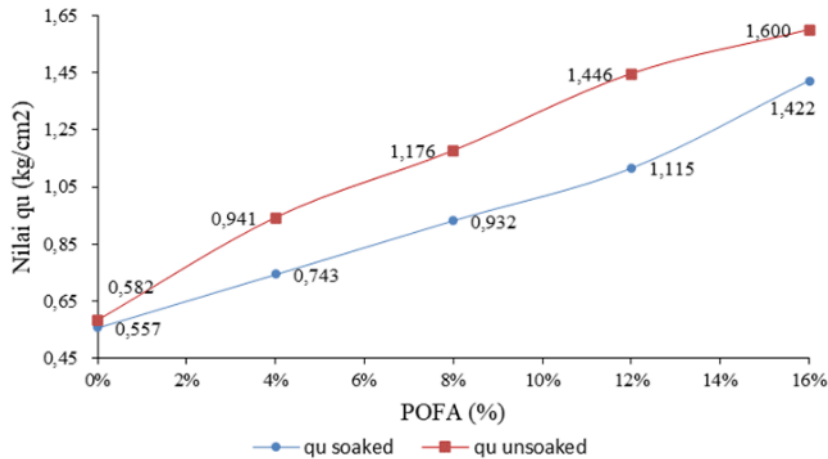
Berdasarkan nilai yang didapat, menurut sistem klasifikasi tanah dengan USCS (Unified Soil Classification System) maka sampel tanah yang diambil secara umum termasuk kategori CL. Dan menurut sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO maka sampel dikategorikan sebagai A-7-5.

3.3. Analisa Pengujian UCST (Kuat Tekan Bebas)

POFA merupakan material pozzolan, yaitu material yang terdiri dari senyawa silika, tetapi tidak memiliki sifat mengikat seperti semen, tapi jika bercampur dengan air maka senyawa tersebut akan bereaksi dan membentuk material seperti semen yaitu kalsium silikat hidrat dan akan mengeras dalam kurun waktu tertentu, yang menyebabkan nilai q_u semakin meningkat (Tohir dan Findia, 2020; Dwina et al., 2022).

Pada pemeraman yang dilakukan selama 7 hari menyebabkan nilai q_u semakin meningkat seiring bertambahnya kadar POFA dalam campuran tanah. Namun jika pemeraman tersebut dilanjutkan dengan perendaman selama 4 hari, maka akan didapat nilai q_u yang lebih kecil daripada nilai q_u tanpa perendaman (Nasution et al., 2023).

Hasil yang didapatkan dari pengujian UCST adalah nilai q_u . Nilai yang diambil adalah nilai yang memiliki tegangan maksimum pada setiap sampel. Untuk pengujian UCST ini dilakukan pengujian *unsoaked* (tanpa perendaman) dan *soaked* (dengan perendaman). Untuk hasil pengujian UCST ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik nilai q_u vs POFA

3.4. Korelasi Nilai UCST dengan Nilai Kuat Geser

Berdasarkan teori Mohr-Coulomb, nilai kuat geser tanah (Gambar 4) dirumuskan sebagai berikut (1) :

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi' \quad (1)$$

Keterangan:

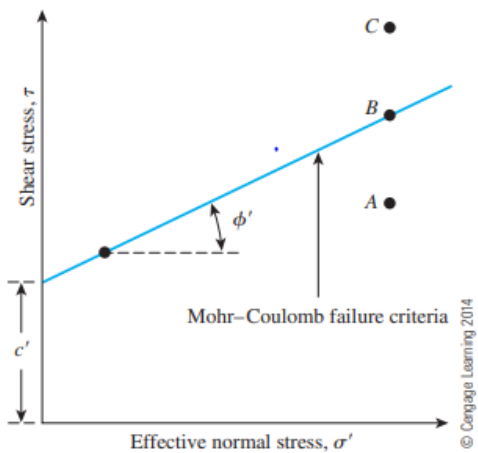
- t = Kekuatan geser tanah
- c = Kohesi
- σ' = Tegangan efektif
- ϕ' = Sudut geser dalam efektif

Bisa juga didapatkan dari grafik tegangan-tegangan, yaitu pada saat terjadi keruntuhan. Untuk pengujian kuat tekan bebas tidak ada tegangan sel ($\sigma_3=0$), maka (2):

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

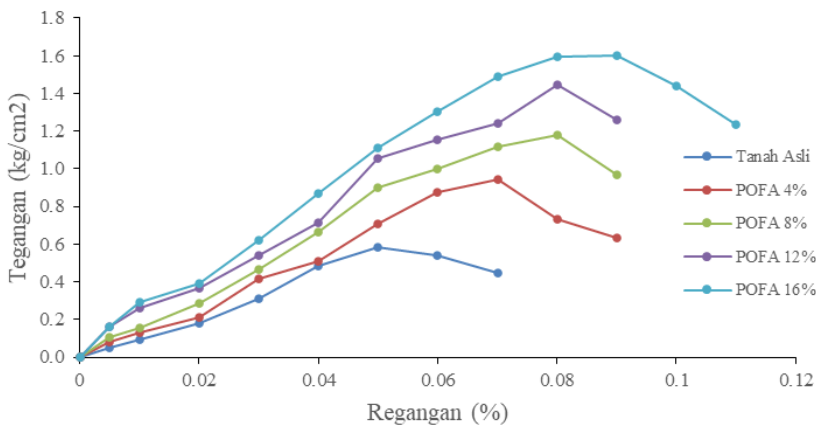
Keterangan :

- τ_f : kuat geser (kg/cm²)
- σ_1 : tegangan utama (kg/cm²)
- q_u : kuat tekan bebas tanah (kg/cm²)
- c_u : kuat geser (kg/cm²)



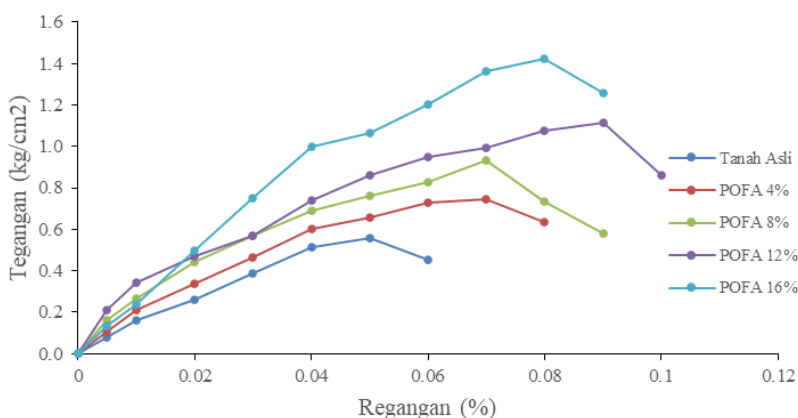
Gambar 4. Grafik nilai kuat geser tanah Mohr-Coulomb

Berdasarkan persamaan di atas, maka nilai kuat geser merupakan $\frac{1}{2} q_u$. Kemudian untuk memperoleh nilai kuat geser tanah berikut ini merupakan grafik tegangan-regangan dari pengujian UCS (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik nilai q_u vs POFA

Dari Gambar 5, dapat dilihat bahwa peningkatan kekuatan tanah seiring dengan penambahan POFA nilai q_u tertinggi diperoleh pada campuran POFA 16% yang bernilai 1.6 kg/cm^2 , penambahan POFA dapat meningkatkan kekuatan hingga mendekati 3x lipat dari kekuatan tanah aslinya.



Gambar 6. Grafik tegangan-regangan sampel UCST dengan perendaman

Dari Gambar 6, dapat dilihat nilai q_u tertinggi diperoleh pada campuran POFA 16% yang bernilai 1.422 kg/cm², namun nilai tersebut lebih rendah dibandingkan nilai maksimum yang didapatkan dari pengujian tanpa perendaman, hal itu disebabkan karena kondisi tanah yang jenuh mengakibatkan berkurangnya nilai kohesi pada tanah.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sampel yang diuji berdasarkan sistem klasifikasi USCS merupakan tanah lempung, dan menurut sistem klasifikasi AASHTO termasuk kategori A-7-5. Semakin meningkatnya kadar POFA dalam campuran tanah (0%,4%,8%,12% hingga 16%), setelah direndam selama 7 hari diperoleh nilai kuat tekan bebas yang meningkat, dengan nilai paling tinggi pada POFA 16% bernilai 1,600 kg/cm². Begitu pun untuk nilai c_u yang bernilai $\frac{1}{2} q_u$ didapatkan nilai paling tinggi pada campuran POFA 16% yang bernilai 0,800 kg/cm². Sedangkan untuk sampel yang direndam selama 4 hari juga didapat nilai kuat tekan bebas tertinggi pada POFA 16% yang bernilai 1,422 kg/cm², dan nilai kuat geser yang bernilai 0,711 kg/cm². Jadi penambahan POFA pada tanah lempung dapat meningkatkan nilai kuat geser tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu sehingga terselesaikannya paper ini, khususnya kepada rekan-rekan tim penulisan paper dengan judul pengaruh penambahan abu cangkang kelapa sawit Palm Oil Fuel Ash (POFA) terhadap nilai kuat geser tanah lempung.

REFERENSI

- Anggraini, M. dan Saleh, A., 2021. Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Semen terhadap Kuat Tekan Bebas. *Sainstek (e-Journal)*, 9(2), hal.108–115. <https://doi.org/10.35583/js.v9i2.182>.
- Dwina, D.O., Nazarudin, N., Alfernando, O., Kumalasari, D. dan 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), hal.78. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v0i0.13734>.
- Empung, E., 2023. Analisis Parameter Tanah Lempung di Tasikmalaya Terhadap Nilai CBR Subgrade dan Tebal Perkerasan di Atasnya. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 5(1), hal.74–80. <https://doi.org/10.37058/aks.v5i1.8939>.
- Haras, M., A.E., T. dan Legrans, R.R.I., 2017. Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Kuat Geser Tanah Lempung. *Educational Building*, 3(2). <https://doi.org/10.24114/eb.v3i2.8250>.
- Hidayatussa'diah, Yayuk, A. dan Fahriani, F., 2020. Pengaruh Penambahan Limbah Abu Cangkang Sawit (POFA) terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) Untuk Stabilisasi Tanah Lempung. *Fropil (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 8(2), hal.102–109. <https://doi.org/10.33019/fropil.v8i2.2143>.
- Nasution, D.W., Hastuty, I.P., Roesyanto, R. dan Anisa, S., 2023. Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA) dan 20% Kapur Dolomit (CaMg(CO₃)₂) Ditinjau dari CBR dan Kuat Tekan Bebas. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(3), hal.218–227. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i3.397>.
- Ningrum, P., Husnah, Mubarak, H. dan Restu, A., 2022. Pengaruh Penambahan Abu Tandan Sawit pada Tanah Lempung berdasarkan Nilai Kuat Geser. *Jurnal Artikel Ilmiah Aplikasi Teknologi (APTEK)*, 14(1), hal.46–52. <https://doi.org/10.30606/aptek.v14i1.1104>.
- Sarifah, J. dan Pasaribu, B., 2017. Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Guna Meningkatkan Stabilitas Tanah Lempung. *Cetak) Buletin Utama Teknik*, 13(1), hal.1410–4520.
- Tohir, M. dan Findia, F., 2020. Analisis Penambahan Abu Cangkang Sawit Pada Campuran Lapis Aspal Beton (Laston). *Jurnal Riset Pembangunan*, 3(1), hal.10–16. <https://doi.org/10.36087/jrp.v3i1.69>.
- Walewangko, B.Y., Sompie, O.B.A. dan Sumampouw, J.E.R., 2020. Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Tras pada Tanah Lempung terhadap Nilai CBR. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), hal.71–76.