



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK
(e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Kuat Geser Tanah Lempung Dengan Abu Tandan Sawit dan Semen

Muthia Anggraini ^{a*}, Alfian Saleh ^b

^{a,b} Universitas Lancang Kuning, Jl. Yos Sudarso km 8, Pekanbaru 28265, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 14 Mei 2022

Revisi Akhir: 29 Juni 2022

Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2022

KATA KUNCI

Stabilisasi,

Kuat Geser,

Abu Tandan Sawit,

Semen.

KORESPONDENSI

Telepon: HP. 08117673089

E-mail: muthia@unilak.ac.id

ABSTRACT

Daya dukung dan kuat geser tanah merupakan sifat-sifat yang ada pada tanah yang sangat perlu diperhatikan. Untuk tanah lempung parameter tersebut perlu diperhatikan sehingga nantinya dapat memikul beban konstruksi yang ada di atasnya. Konstruksi jalan merupakan salah satu contoh bangunan sipil yang dibangun di atas tanah. *Subgrade* jalan sangat perlu diperhatikan untuk pembangunan konstruksi jalan, dimana harus memiliki daya dukung yang baik. Perbaikan tanah yang bisa dilakukan untuk meningkatkan daya dukung dan memperbaiki sifat tanah lempung yang mudah mampat yaitu dengan stabilisasi. Stabilisasi tanah dengan pencampuran abu tandan sawit dan semen pada tanah lempung akan meningkatkan nilai kuat gesernya. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan nilai kuat geser tanah lempung dengan campuran 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen. Metode yang digunakan adalah SNI 3420:2016 untuk pengujian kuat geser. Hasilnya dari pengujian kuat geser di laboratorium nilai kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) tertinggi pada 7,5% abu tandan sawit dan 10% semen dengan nilai kohesi 0,480 dan nilai sudut geser 41,54°. Kesimpulannya penambahan abu tandan sawit dan semen dapat meningkatkan nilai kohesi dan sudut geser tanah lempung.

1. PENDAHULUAN

Tanah dasar merupakan bagian yang paling penting untuk mendukung beban konstruksi di atasnya. Tanah dasar yang berupa lempung yang memiliki daya dukung rendah yang nantinya bisa berdampak pada konstruksi yang ada di atasnya [1]. Untuk dapat memikul beban yang ada di atasnya tanah tersebut harus memiliki sifat dan daya dukung yang baik [2],

Pembangunan konstruksi jalan sangat penting diperhatikan terutama *subgrade* jalan yang harus memiliki daya dukung yang bagus sehingga nantinya dapat mendukung beban di atasnya. Tanah lempung

merupakan salah satu jenis tanah yang ada di Indonesia [3]. Provinsi Riau merupakan salah satu daerah yang memiliki tanah lempung yang kurang baik [4].

Daya dukung tanah dipengaruhi oleh nilai kohesi, tanah lempung dikategorikan tanah jelek karena memiliki kohesif lunak sehingga memiliki daya dukung yang rendah [5] pembangunan jalan apabila tetap dibangun di atasnya tanpa dilakukan perbaikan pada tanah tersebut maka akan mengakibatkan kerusakan pada jalan tersebut [6].

Tanah lempung jika dalam kondisi memiliki kandungan air yang tinggi atau kondisi basah akan mengakibatkan daya dukung tanahnya menjadi rendah [7]. Sifat – sifat

dari tanah lempung yang perlu diperhatikan adalah sifat pemampatan, permeabilitas, dan kuat geser yang rendah sehingga hal ini mengakibatkan terbatas beban yang ada di atasnya untuk bekerja [8].

Untuk memperbaiki permasalahan yang ada pada tanah lempung adalah dengan melakukan perbaikan pada tanah tersebut sehingga nantinya dapat memperbaiki sifat fisis tanah lempung tersebut. Perbaikan tanah yang dilakukan salah satunya dengan cara stabilisasi secara kimiawi [9]. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk mereduksi *indeks plastisitas* dan meningkatkan nilai kuat geser tanah lempung [10]. Stabilisasi tanah lempung dengan abu tandan sawit dan semen merupakan salah satu cara untuk meningkatkan nilai kuat geser tanah. Kombinasi yang dilakukan pada bahan stabilisasi tersebut dimaksudkan untuk menutupi kekurangan dari semen yang dapat mengikat dan mengeras jika bereaksi dengan air [11]. Abu tandan sawit merupakan bahan *pozzolanik* yang materialnya tidak mengikat seperti semen [12]. Variasi yang digunakan untuk campuran bahan stabilisasinya adalah 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen. Variasi ini digunakan berdasarkan penelitian terdahulu dengan 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% *gypsum* [13].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan Abu Tandan Sawit dan semen dengan variasi 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen untuk meningkatkan kuat geser tanah lempung. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah pada penelitian ini menggunakan variasi bahan campuran abu tandan sawit dan semen dengan persentase campuran 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen untuk menaikkan nilai kuat geser tanah lempung. Pada penelitian terdahulu menggunakan campuran abu tandan sawit dan semen dengan variasi 5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen dan juga campuran abu tandan sawit dan *gypsum* dengan variasi 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% *gypsum*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang dapat menghasilkan sifat-sifat plastis yang bisa terjadi pada tanah apabila tercampur dengan air. Tanah lempung memiliki sifat permeabilitas yang rendah, ukuran butiran halus kurang dari 0,002 mm, bersifat sangat kohesif, enaikan air kapiler yang tinggi, sifat kembang susut yang tinggi, dan proses konsolidasi yang lambat [14].

Pada kondisi basah tanah yaitu pada saat memiliki kandungan air yang tinggi akan mengakibatkan kemampuan dalam mendukung beban akan menjadi rendah [15].

Untuk menentukan tanah tersebut dikategorikan sebagai tanah lempung tidak cukup dengan melihat dari ukuran butirannya, akan tetapi perlu diketahui kandungan dari mineral yang terkandung pada tanah lempung tersebut. Mineral yang ada pada tanah lempung terdiri dari senyawa aluminium silikat kompleks yang terdiri dari satu atau bahkan dua silica *tetrahedral oktahedra* [16].

Sifat yang dimiliki oleh tanah lempung yaitu hidrasi. Hidrasi yaitu kondisi dimana lempung memiliki muatan negatif. Kondisi ini adalah kondisi dimana tanah lempung dikelilingi lapisan molekul-molekul air. Kondisi seperti ini disebut dengan air teradsorpsi yang menjadikannya memiliki dua tebal molekul atau disebut lapisan ganda. Molekul air dari tanah lempung sendiri prilakunya seperti batang-batang kecil yang memiliki muatan positif dan muatan negative pada masing-masing sisinya [17].

2.2. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu usaha yang dilakukan untuk meningkatkan nilai kapasitas daya dukung tanah dan memperbaiki sifat-sifat dari tanah [8]. Metode dari stabilisasi tanah ada 2 yaitu stabilisasi secara mekanis dan stabilisasi secara kimiawi. Stabilisasi secara mekanis maksudnya melakukan perbaikan pada struktur tanah sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah tersebut. Stabilisasi secara kimiawi maksudnya perbaikan yang dilakukan untuk menghilangkan sifat-sifat teknis yang ada pada tanah yang memiliki nilai yang rendah kemudian dilakukan pencampuran dengan bahan kimia seperti menggunakan kapur, semen, bitumen, dan *fly ash* [1].

Alternatif untuk memperbaiki sifat-sifat yang ada pada tanah salah satunya dapat dilakukan dengan stabilisasi. Prinsip dari stabilisasi itu sendiri yaitu dapat menyusun butiran-butiran tanah yang semulanya renggang menjadi rapat dan juga dapat saling mengunci. Kondisi seperti ini akan mengakibatkan tanah tersebut menjadi stabil [18].

2.3. Palm Oil Fuel Ash (POFA)

Palm Oil Fuel Ash (POFA) atau abu tandan sawit yaitu merupakan limbah yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit [19]. Abu tandan sawit dihasilkan dari proses pembakaran tandan kosong kelapa sawit yang dilakukan pada suhu 800-1000°C sehingga nantinya menghasilkan

abu. Abu dari pembakaran tandan sawit merupakan aditif utama yang digunakan untuk bahan campuran stabilisasi tanah [6].

Pemanfaatan abu tandan sawit sendiri di bidang teknik sipil dilakukan untuk aplikasi pengganti filler pada campuran beton dan aspal. POFA dihasilkan dari pembakaran limbah padat kelapa sawit pada suhu 800 – 1.000°C yang dibakar pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit [20].

Abu sawit berasal dari pengolahan dari limbah yang banyak mengandung silikat yang banyak mengandung silikat yang tinggi dan bisa berpotensi menjadi sangat tinggi [9].

2.4. Kuat Geser

Ketahanan geser atau biasa disebut dengan kuat geser tanah sangat perlu diketahui untuk stabilitas tanah. Kekuatan geser yang terjadi pada suatu massa tanah merupakan suatu perlawanan internal tanah tersebut persatuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran yang terjadi sepanjang bidang geser dalam tanah [21].

Perhitungan nilai kuat geser tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [14] :

$$S = c' + \sigma' \tan \varphi' \quad (1)$$

Dimana:

S = kekuatan geser tanah

C' = kohesi

σ' = tegangan efektif

φ' = sudut geser dalam efektif

Kuat geser tanah itu sendiri merupakan kemampuan tanah dalam menahan tegangan geser saat diberi beban atau pada saat terbebani [22]. Keruntuhan geser tanah penyebabnya bukan karena adanya butir-butir dari tanah yang hancur tetapi diakibatkan oleh gerakan yang terjadi antar butir tanah tersebut. Pembebanan pada tanah akan dapat ditahan dengan adanya [22]:

1. Kohesi tanah

Nilai ini bergantung pada karakteristik dan kepadatan tanah itu sendiri. Pada tegangan normal kondisi ini bekerja pada bidang geser.

2. Gesekan yang terjadi antara butiran tanah besarnya akan berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang geser.

2.5. Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah merupakan kondisi keadaan asli dari tanah yang nilainya nanti akan digunakan untuk menentukan jenis dari tanah tersebut. Sifat-sifat ini diperoleh dari pengujian laboratorium yang dilakukan pada tanah tersebut [22].

Pengujian karakteristik fisik dan mekanis tanah terdiri dari pengujian berikut ini [23] :

1. Kadar air

Merupakan perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_d) yang nilainya dinyatakan dalam persen. Nilai kadar air ini sangat mempengaruhi perilaku pada tanah khususnya pada saat pengembangan. Untuk menghitung nilai kadar air menggunakan rumus berikut ini :

$$W (\%) = \frac{W_w}{W_d} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

2. Berat jenis

Berat jenis atau *Specific Gravity* (GS) yaitu perbandingan antara berat volume dari butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w). Untuk menghitung nilai berat jenis menggunakan rumus berikut ini :

$$GS = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots \dots \dots (3)$$

3. Batas Cair (LL)

Yaitu kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. W_c adalah kadar air pada saat tanah menutup dan N adalah jumlah pukulan pada kadar air. Rumus yang digunakan adalah berikut ini :

$$W = W_c \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \dots \dots \dots (4)$$

4. Batas Plastis (PL)

Didefinisikan sebagai kedudukan dari kadar air antara daerah plastis dan semi padat. Kondisi ini diilustrasikan pada saat tanah yang digulung dengan diameter 3,2 mm mulai terjadi retak.

5. Indeks Plastisitas (PI)

Selisih dari batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (5)$$

3. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan data. Sampel tanah lempung di ambil

di daerah Limbungan Kecamatan Rumbai Pesisir, tanah yang diambil adalah sampel tanah tak terganggu yang diambil dengan menggunakan *hand bore* dan sampel tanah terganggu diambil dengan menggunakan cangkul. Abu tanda sawit diambil dari pembakaran tandan kosong kelapa sawit dari PT Kharisma Wirajaya Palma, abu tersebut disaring dengan saringan No. 4,7 mm. Semen yang digunakan adalah semen padang tipe PCC. Langkah awal pengujian yaitu menguji sifat propertis tanah dan pengujian kuat geser tanah asli dan tanah yang terstabilisasi dengan campuran 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen yang dilakukan di laboratorium. Metode pencampuran masing-masing persentase Abu Tandan Sawit dan semen adalah tanah yang telah diambil dari lapangan kemudian dikeringkan terlebih dahulu dibawah sinar matahari. Tanah yang sudah kering diayak dengan saringan No. 4 mm. Tanah dicampur dengan 7,5 % abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10%. Pencampuran dilakukan dengan cara menimbang tanah yang sudah dicampur sesuai kadar masing-masing, kemudian dipadatkan dengan cara pemadatan (*compaction*). Pembuatan masing – masing benda uji pemadatan dengan menggunakan kadar air optimum dari hasil pengujian *proctor test*. Pencampuran tanah dilakukan sebanyak 1 Kg dan dimasukkan kedalam ring. Tanah dipadatkan dan dikeluarkan dari dalam ring dan diperam selama 3 x 24 jam.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Propertis dan Kuat Geser Tanah Asli

Pengujian propertis tanah asli yang dilakukan di laboratorium adalah pengujian berat jenis tanah, *atterberg*, pengujian pemadatan, dan pengujian kuat geser. Hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 1. Nilai Propertis dan Kuat Geser Tanah Asli

Uraian	Tanah Asli	
	Hasil	Satuan
Berat Jenis	2,64	
Batas Cair (LL)	57,60	%
Batas Plastis (PL)	32,66	%
Plastis Indeks (PI)	24,94	%
Kadar Air Optimum	33,81	%
Kohesi (c)	0,282	Kg/cm ²
Sudut Geser (φ)	34,10	°

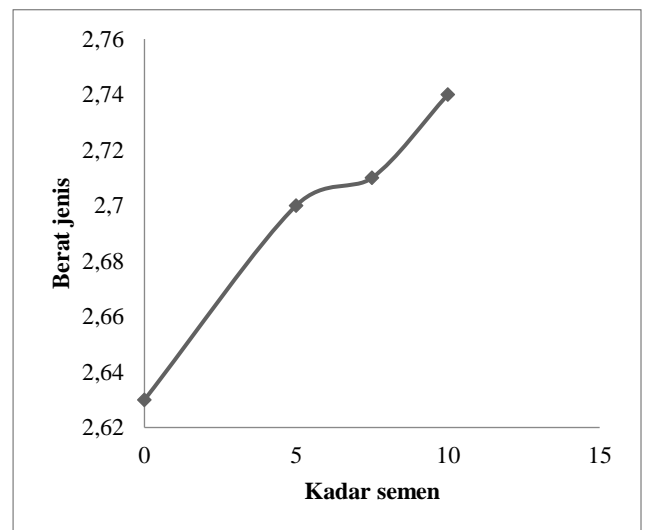
4.2. Pengujian Berat Jenis Tanah Lempung dengan 7.5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7.5%, dan 10% Semen

Pengujian berat jenis tanah yang terstabilisasi 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Nilai Pengujian Berat Jenis Tanah Lempung Dengan 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% Semen

Persentase Abu Tandan Sawit (%)	Persentase semen (%)	Berat jenis tanah (gr/cm ³)
0	0	2,63
7,5	5	2,70
7,5	7,5	2,71
7,5	10	2,74

Hubungan antara berat jenis tanah lempung yang dicampur dengan 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen adalah :



Gambar 1. Berat Jenis Tanah Lempung Dengan Campuran Abu Tandan Sawit dan Semen

Terjadi peningkatan nilai berat jenis tanah lempung yang terstabilisasi abu tandan sawit dan semen. Nilai berat jenis tanah asli 2,64 gr/cm³ meningkat dengan penambahan abu tandan sawit dan semen. Nilai berat jenis maksimum pada campuran 7,5% abu tandan sawit dan 10% semen sebesar 2,74 gr/cm³. Naiknya nilai berat jenis tanah lempung diakibatkan karena makropori dan mikropori yang ada pada tanah lempung tersebut meningkat karena bertambahnya kadar semen [8].

4.3. Pengujian Konsistensi Tanah

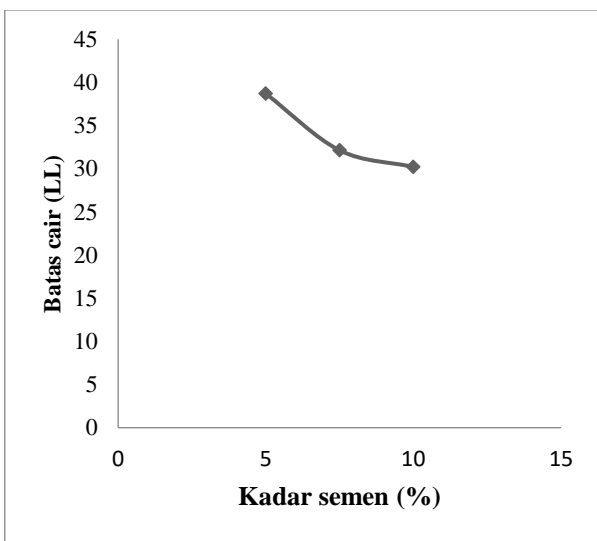
Pengujian konsistensi tanah yaitu pengujian *atterberg limit* pada tanah lempung yang distabilisasi 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen. Hasil

pengujian di laboratorium dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 3. Nilai Pengujian *Atterberg Limit* Tanah Lempung Dengan 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% Semen

Batas konsistensi	Kadar semen (%)		
	5%	7,5%	10%
Batas cair (LL)	38,71	32,14	30,21
Batas plastis (PL)	21,02	22,63	23,68
Indeks plastis (PI)	17,69	9,51	6,53

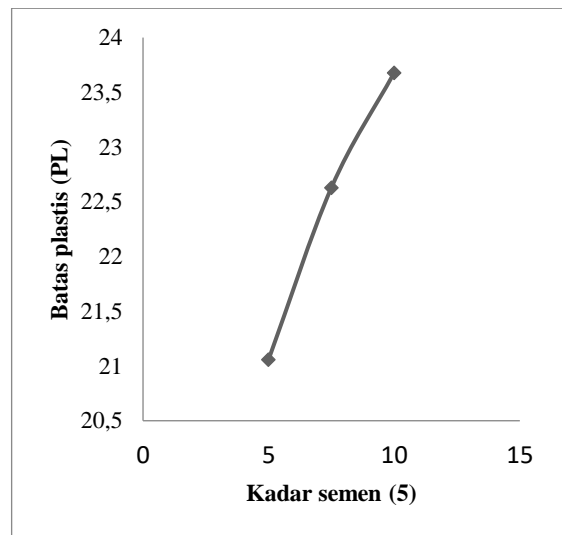
Untuk hubungan stabilisasi tanah lempung dengan campuran 7,5% tanah lempung dan 5%, 7,5%, dan 10% semen dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2. Hubungan Penambahan 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen Terhadap Nilai Batas Cair (LL)

Terjadi penurunan nilai Batas Cair (LL) dengan penambahan abu tandan sawit dan semen. Penurunan terjadi karena persentasi yang dikandung oleh tanah berkurang pada tanah terstabilisasi [8]. Nilai Batas Cair (LL) terkecil sebesar 31,21 pada campuran 7,5% abu tandan sawit dan 10% semen.

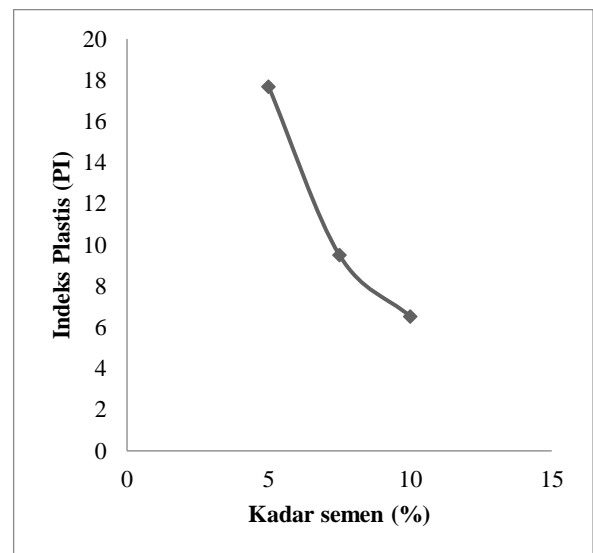
Hubungan antaran stabilisasi tanah lempung yang dicampur dengan 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen terhadap nilai Batas Plastis (PL) dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 3. Hubungan Penambahan 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen Terhadap Nilai Batas Plastis (PL)

Terjadi peningkatan nilai Batas Plastis (PL) dengan penambahan abu tandan sawit dan semen. Peningkatan ini disebabkan karena penambahan campuran tersebut mengurangi persentase tanah yang lolos saringan No. 200 sehingga menunjukkan ukuran butiran tanah yang terstabilisasi lebih besar dan fraksi dari lempung berkurang.

Hubungan antara stabilisasi tanah lempung dengan campuran 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen terhadap nilai *Indeks Plastisitas* (PI) adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Hubungan Penambahan 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen Terhadap Nilai *Indeks Plastisitas* (PI)

Terjadi penurunan nilai *Indeks Plastisitas* (PI) dengan bertambahnya campuran abu tandan sawit dan semen.

Penurunan ini diakibatkan karena dengan bertambahnya abu tandan sawit dan semen dapat mengendalikan sifat plastis yang ada pada tanah lempung sehingga menjadi stabil [8].

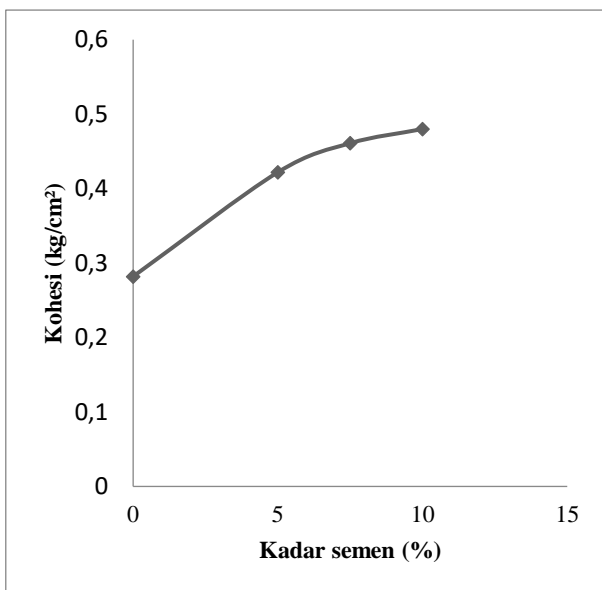
4.4. Pengujian Kuat Geser Tanah Lempung Jenis Tanah Lempung dengan 7.5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7.5%, dan 10% Semen

Pengujian kuat geser tanah lempung yang dicampur dengan abu tandan sawit dan semen dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Geser Lempung Dengan 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7.5%, dan 10% Semen

Kadar Abu Tandan Sawit (%)	Kadar semen (%)	Kohesi (C) (kg/cm ²)	Sudut geser (°)
0	0	0,282	34,08
7,5	5	0,422	37,54
7,5	7,5	0,461	41,31
7,5	10	0,480	41,54

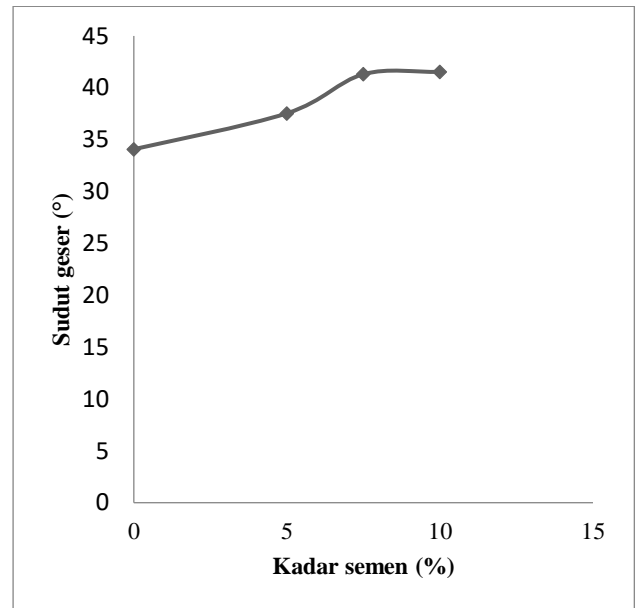
Gambar penambahan campuran 7,5% abu tandan sawit dan 5%, 7.5%, dan 10% semen adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai Kohesi Tanah dengan 7,5 % Abu Tandan Sawit dan 5%, 7.5%, dan 10% semen

Terjadi peningkatan nilai kohesi tanah lempung dengan penambahan abu tandan sawit dan semen. Semakin tinggi kadar abu tandan sawit dan semen mengakibatkan nilai kohesinya juga semakin besar.

Pengaruh penambahan 7,5% Abu Tandan Sawit dan 5%, 7.5%, dan 10% semen terhadap sudut geser tanah dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 6. Nilai Sudut Geser Tanah Lempung Dengan Campuran 7,5 % Abu Tandan Sawit dan 5%, 7.5%, dan 10% semen

Terjadi peningkatan nilai sudut geser tanah lempung yang dicampur dengan abu tandan sawit dan semen. Semakin banyak kadar persentase abu tandan sawit dan semen nilai sudut geser juga semakin besar. Dengan meningkatkan nilai kohesi dan sudut geser tanah sehingga dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah lempung tersebut. Penambahan abu tandan sawit dan semen dapat meningkatkan nilai sudut geser tanah lempung.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah terjadi peningkatan nilai kohesi dan sudut geser tanah dengan penambahan kadar semen pada 7,5% Abu tandan Sawit pada tanah lempung. Peningkatan ini dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah lempung tersebut. Nilai tertinggi terdapat pada 7,5% Abu Tandan Sawit dan 10% semen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh bantuan APBU Universitas Lancang Kuning dengan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian Nomor : 043/LPPM/Pn/2021. Ucapan terima kasih kepada LPPM Universitas Lancang Kuning, Program Studi Teknik Sipil untuk menyediakan fasilitas Laboratorium. Ucapan terima kasih juga kepada laboran

dan mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning yang sudah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. W. S. Pratama and A. W. Utami, "Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Pemetaan Jalan Berlubang Wilayah Surabaya Selatan (Studi Kasus: PT.Binamarga Surabaya)," *J. Manaj. Inform.*, vol. 6, no. 1, pp. 117–121, 2016.
- [2] A. Muthia and S. Alfian, "Compressive Strength Value Of Clay Soil Stabilization With Palm Oil Fuel and Cement," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 737, no. 1, pp. 1–6, doi: 10.1088/1755-1315/737/1/012038.
- [3] N. Panjaitan, "Pengaruh Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung," *J. Educ. Build.*, vol. 3, pp. 1–7, 2017.
- [4] H. Imam, Muhardi, and F. Fatnanta, "Perbaikan tanah gambut dengan Metoda Kolom Konfigurasi Segitiga dari Campuran Fly Ash dan Bottom Ash," *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2017.
- [5] G. Wibisono, S. A. Nugroho, and K. Umam, "The Influence Sands Gradation And Clay Content Of Direct Sheart Test On Clayey Sand," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 316, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/316/1/012038.
- [6] D. Panggabean, W. Winayati, and M. Anggraini, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Tandan Kelapa Sawit dan Semen Untuk Meningkatkan Nilai CBR," *J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [7] I. Indrayani, A. Herius, D. Saputra, and A. M. Fadi, "Analysis of The Effect Of The Addition of Fly Ash and Petrsoil on The Soil Shear Strength of The Swamp Area," *Indones. J. Environ. Manag. Sustain.*, vol. 4, no. 1, pp. 10–13, 2020, doi: 10.26554/ijems.2020.4.1.10-13.
- [8] W. N. Purwati, R. Rokhman, and H. Pristianto, "Pengaruh Kadar Semen Terhadap Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau Dari Kuat Geser Tanah," *J. Tek. Sipil Ranc. Bangun*, vol. 5, no. 1, p. 42, 2019, doi: 10.33506/rb.v5i1.745.
- [9] A. Refi and Elvanisa, "Pengaruh Variasi Abu Cangkang Sawit terhadap Kembang Susut Tanah Lempung," *Tek. Sipil ITP*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2016.
- [10] S. Rahmaneta, Munirwansyah, and B. Chairullah, "Pengaruh Stabilisasi Kapur Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Ekspansif," *J. Civ. Eng. Student*, vol. 2, no. 1, 2020.
- [11] M. Miswar, S. Syaifuddin, and N. Amani, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen Dan Kapur Untuk Meningkatkan Daya Dukung Cbr Tanah," *Portal J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 1–13, 2018, doi: 10.30811/portal.v9i2.615.
- [12] J. Sarifah and B. Pasaribu, "Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Guna Meningkatkan Stabilitas Tanah Lempung," *Bul. Utama Tek.*, vol. 13, no. 1, pp. 55–61, 2017.
- [13] Y. Sutejo, R. Dewi, and H. Yudhistira, "Pengaruh penambahan abu tandan sawit dan gipsum terhadap tanah lempung lunak berdasarkan pengujian cbr," *FSTP Int. Symp.*, 2015.
- [14] Z. Amin, Rismalinda, and A. Ariyanto, "Pengaruh Pencampuran Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung," *J. Taxiw.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [15] Indrayani, A. Herius, P. N. Zeri, and N. Fernando, "Analisis Kuat Geser Tanah Lempung Menggunakan Kapur dan Petrasoil," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [16] H. H. P. Sinaga and Roesyanto, "Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test) Pada Stabilitas Tanah Lempung Dengan Campuran Semen dan Abu Cangkang Sawit," pp. 1–12.
- [17] M. Anggraini and A. Saleh, "Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Semen Terhadap Kuat Tekan Bebas," *Sainstek (e-Journal)*, vol. 9, no. 2, pp. 108–115, 2021, doi: 10.35583/js.v9i2.182.
- [18] N. Mohd Zambri and Z. Md Ghazaly, "Peat Soil Stabilization using Lime and Cement," *E3S Web Conf.*, vol. 34, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1051/e3sconf/20183401034.
- [19] A. W. Otunyo and C. C. Chukuigwe, "Investigation Of The Impact Of Palm Bunch Ash On The Stabilization Of Poor Lateritic Soil," *Niger. J. Technol.*, vol. 37, no. 3, p. 600, 2018, doi: 10.4314/njt.v37i3.6.
- [20] M. Anggraini and A. Saleh, "Penambahan Abu Tandan Kelapa Sawit dan Semen Terhadap Nilai CBR (California Bearing Ratio) Pada Tanah Lempung," *Siklus*, vol. 6, no. 1, pp. 49–55, 2020.
- [21] L. A. Widari, S. J. Akbar, Hamzani, and A. P. Bulang, "Pengaruh Penggunaan Semen

Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lunak Desa Matang Panyang Terhadap Kuat Geser,” *Teras J.*, vol. 6, no. 1, pp. 57–65, 2016.

- [22] A. N. E. Naseriman, O. B. A. Sompie, and A. Sarajar, “Pengujian Kuat Geser Pada Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Campuran Arang Tempurung Kelapa Dan Tras Ditinjau Dari Waktu Pemeraman,” *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 5, pp. 779–788, 2020.
- [23] M. Yunus and P. N. Fakkak, “Nilai Kuat Geser Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Abu Batu (Fly Ash),” *J. ISAINTEK*, vol. 1, no. July 2018, pp. 13–18, 2020.