

STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN ABU TANDAN KELAPA SAWIT DAN SEMEN UNTUK MENINGKATKAN NILAI CBR

Daniel Panggabean¹, Winayati¹, Muthia Anggraini^{1*}

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso Km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

email: muthia@unilak.ac.id*

Diterima : 7 Maret 2021
Direvisi : 6 Mei 2021

Disetujui : 18 Mei 2021
Diterbitkan : 31 Mei 2021

Abstract: Roads with subgrades that have soft soil (clay) characteristics are a problem that often occurs in these soil conditions because they have a very low bearing capacity. This condition is if the road construction that is built on it will cause damage. As a result, soil subsidence is not uniform in soil conditions that have a low bearing capacity. The type of soil used in this study is clay soil taken from the Garuda Sakti km.13 Kampar district, Riau. The purpose of this study was to increase the bearing strength of the soil by stabilizing the clay soil with a mixture of 5%, 10%, 15%, 20%, of oil palm bunch ash mixture, and 10% cement to increase the value of the California Bearing Ratio (CBR). The method used is laboratory testing to get the CBR value which refers to the California Bearing Ratio (CBR) test using SNI 03-1744-2008. From the results of atterberg tests carried out, the higher the variation of oil palm bunch ash and cement on clay soil, the atterberg value tends to decrease. The liquid limit value (PL) is 57.93% - 43.16% - 24.94% and the plastic limit (LL) is 27.35% - 24.94%, causing the plastic index value to decrease by 16.73%. The higher the percentage of oil palm bunch ash and cement mixed with clay soil, the better the mixed soil is due to the reduced plasticity in the original soil. Testing the maximum CBR value in the laboratory with a variation of 15% oil palm bunch ash and 10% cement by 70.5%, the CBR value obtained meets the General Specifications of Bina Marga CBR 6%. The addition of Palm Oil Bunch Ash and cement can increase the CBR value in clay soils. The more variations in the levels of Ash and cement, the CBR value of the clay soil will increase. In conclusion, the variation of 15% oil palm bunch ash and 10% cement resulted in a maximum CBR value of 70.5%.

Keywords : Oil Palm Bunch Ash; Cement; Soil Stabilization; Clay Soil

Abstrak: Jalan dengan *subgrade* yang memiliki karakteristik tanah lunak (lempung) merupakan suatu permasalahan yang sering terjadi pada kondisi tanah tersebut, karena memiliki daya dukung yang sangat rendah. Kondisi ini apabila pada konstruksi jalan yang dibangun diatasnya akan terjadi kerusakan. Akibatnya penurunan tanah tidak seragam pada kondisi tanah yang memiliki daya dukung rendah. Jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah lempung yang diambil dari jalan Garuda Sakti km. 13 Kabupaten Kampar, Riau. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kuat dukung tanah dengan stabilisasi tanah lempung dengan variasi campuran Abu Tandan Kelapa Sawit 5%, 10%, 15%, 20% dan semen 10% untuk meningkatkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Metode yang digunakan yaitu pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai CBR yang mengacu pada pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) menggunakan SNI 03-1744-2008. Dari hasil pengujian *atterberg* yang dilakukan semakin tinggi variasi abu tandan kelapa sawit dan semen pada tanah lempung maka nilai *atterberg* cenderung menurun. Nilai batas cair (PL) 57,93% - 43,16% - 24,94% dan batas plastis (LL) 27,35% - 24,94%, sehingga menyebabkan nilai indeks plastis menurun sebesar 16,73%. Semakin tinggi persentase abu tandan kelapa sawit dan semen yang di campur dengan tanah lempung, maka tanah campuran tersebut semakin baik karena berkurangnya sifat plastisitas pada tanah asli. Pengujian nilai CBR maksimum di laboratorium dengan variasi abu tandan kelapa sawit 15% dan semen 10% sebesar 70,5 %, nilai CBR yang didapat memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga CBR 6%. Penambahan Abu Tandan Kelapa Sawit dan semen dapat meningkatkan nilai CBR pada tanah lempung. Semakin banyak variasi kadar Abu Tandan Sawit dan semen maka nilai CBR tanah lempung akan semakin meningkat. Kesimpulannya variasi abu tandan kelapa sawit 15% dan semen 10% menghasilkan nilai CBR maksimum sebesar 70,5%.

Kata kunci : Abu Tandan Kelapa Sawit; Semen; Stabilisasi tanah; Tanah lempung

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan elemen yang sangat penting yang akan mempengaruhi keberhasilan suatu proyek konstruksi dan merupakan bagian dari bagian dari pondasi yang digunakan dalam proses konstruksi [1]. Permasalahan tanah dengan daya dukung yang rendah sering dijumpai pada pembangunan jalan. Untuk membangun konstruksi jalan perlu diperhatikan *subgrade* jalan dengan daya dukung tanah yang bagus. Banyak faktor yang mempengaruhi kekuatan tanah sehingga dapat mempengaruhi sifat tanah seperti kuat dukung tanah, kuat geser tanah, kuat tekan tanah, dan kadar air [2]. Tanah lunak biasanya terkenal karena kuat dukung yang rendah, kadar air yang tinggi, kompresibilitas tinggi, deformabilitas tinggi, dan permeabilitas rendah, yang menyebabkan kesulitan dalam aplikasi geoteknik [3].

Salah satu jenis tanah yang memiliki daya dukung rendah adalah tanah lempung. Tanah lempung merupakan komponen penyusun struktur tanah yang memiliki ukuran sebesar ukuran gradasi ayakan yang relatif kecil yang berasal dari pelapukan batuan [4]. Tanah lempung memiliki karakteristik kuat geser dan daya dukung yang sangat rendah dan kompresibilitasnya sangat tinggi [5]. Nilai daya dukung tanah dapat dilihat dari nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Pada kondisi basah tanah lempung akan memiliki kandungan air yang besar akibatnya pada kondisi ini tanah lempung akan memiliki kemampuan yang rendah untuk mendukung beban konstruksi yang ada di atasnya [6]. Tanah lempung seringkali tidak stabil untuk mendukung beban di atasnya dan sangat rentan terhadap perubahan kadar air [7].

Indonesia sebagian jenis tanahnya kategori tanah lempung [8]. Provinsi Riau salah satunya yang memiliki banyak memiliki daerah dengan kategori tanah lempung. Provinsi Riau yang terletak di dataran rendah dan berada di daerah pesisir sehingga memiliki tanah lempung yang kurang baik [9]. Hal ini disebabkan karena terdiri dari tanah kohesif lunak sehingga memiliki daya dukung rendah [10].

Stabilisasi tanah adalah teknik yang dilakukan untuk mengubah sifat – sifat tanah dengan cara mencampur atau menggabungkan dengan bahan baru [11]. Proses stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu stabilisasi secara mekanis, stabilisasi fisik dan stabilisasi secara kimiawi dengan menambahkan zat *additive* pada tanah lempung yang akan distabilisasi [12]. Stabilisasi tanah lempung yang dilakukan pada penelitian ini adalah stabilisasi tanah lempung secara kimiawi dengan tambahan abu tandan sawit dan semen. Mengapa menggunakan abu tandan sawit, karena provinsi Riau yang merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang mempunyai lahan sawit yang luas. Pada tahun 2015 menurut Badan Pusat Statistik Riau luas lahan sawitnya mencapai 2.399.172 ha [13]. Kebaharuan dari penelitian

ini adalah menggunakan kombinasi abu tandan sawit dan semen untuk stabilisasi tanah untuk mengatasi kekurangan yang ada pada semen yang dapat mengikat dan mengeras jika bereaksi dengan air. Semen mempunyai sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral sehingga menjadi suatu kesatuan yang kompak [14].

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah dari proses pengolahan buah sawit. Abu tandan sawit merupakan limbah yang dihasilkan industri kelapa sawit [1] sehingga apabila terus dibiarkan limbah tersebut dapat merusak lingkungan. Abu tandan sawit merupakan jenis *pozzolana* tanpa saman yang berasal dari limbah pembakaran tandan kosong kelapa sawit [15]. Abu tandan sawit didapat dari pembakaran tandan kosong kelapa sawit pada suhu 800–1.000° C sehingga menghasilkan abu. Abu tandan kelapa sawit adalah aditif utama yang digunakan untuk stabilisasi tanah. Abu kelapa sawit diperoleh dari limbah kelapa sawit dan dibakar untuk diambil abunya [16].

Penelitian ini melakukan stabilisasi tanah dengan abu tandan sawit dan semen untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan memperbaiki nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase nilai CBR tanah lempung dengan variasi pencampuran Abu Tandan Kelapa Sawit 5%, 10%, 15%, 20% dan semen 10%. Penelitian ini menggunakan limbah kelapa sawit yang banyak di Riau, yang dapat digunakan untuk alternatif penggunaan perbaikan tanah lempung. Selain bahan stabilisasi menggunakan abu tandan sawit juga dikombinasi dengan semen, untuk memperbaiki sifat semen yang mudah mengikat apabila terkena air.

Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini menggunakan variasi pencampuran Abu Tandan Kelapa Sawit 5%, 10%, 15%, 20% dan semen 10% sedangkan penelitian sebelumnya menggunakan variasi 7,5% Abu Tandan Kelapa Sawit dan 5%, 7,5%, dan 10% semen [13].

2. METODE PENELITIAN

Metode dan tahapan pada penelitian ini adalah pengadaan Abu tandan Sawit dan semen, pengambilan sampel tanah dan pengujian sampel tanah di laboratorium.

Pengadaan Abu Tandan Sawit, Semen dan Pengambilan Sampel Tanah

Abu Tandan Sawit yang digunakan berasal dari pembakaran tandan kosong kelapa sawit yang diambil dari PT. Kharisma Wirajaya Palma, kemudian disaring dengan saringan No. 4, 7 mm yang nantinya digunakan sebagai bahan stabilisasi dengan persentase 5%, 10%, 15%, dan 20%.

Semen yang digunakan adalah semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) yang diproduksi oleh PT. Semen Padang dengan setiap pengujian digunakan 10% semen.

Sampel tanah lempung diambil di daerah Jl. Garuda Sakti Km. 3 Kampar, Riau. Tanah yang diambil adalah sampel tanah tak terganggu yang diambil dengan menggunakan alat *hand bore* dan untuk sampel tanah terganggu diambil dengan menggunakan cangkul.

Pengujian laboratorium

Metode yang digunakan dalam pembuatan Stabilitas Tanah Lempung yaitu dengan variasi kadar abu tandan sawit yaitu 5%, 10%, 20% dan semen 10%. Sampel yang sudah dikeringkan dan dicampurkan, pengujian pemadatan berbentuk lingkaran diameter (50,80 + 0,13) dan massa (2,49 + 0,01 kg) tanah di saring No. 4 lalu dimasukkan kedalam plastik di timbang 2,5 kg masing-masing 5 sampel untuk pengujian pemadatan dengan variasi kadar optimum setiap tahap penumbukan 3 lapisan sebanyak 25 pukulan, lalu ambil 3 benda uji di ayak dengan saringan no.4 diambil sebanyak 5kg setiap benda uji diberikan air sampai mendapatkan kadar air optimum, pengujian pemadatan diambil benda uji yang sudah melakukan pemeraman serta ditumbuk sebanyak 3 lapisan pada benda uji.

Untuk mencari nilai berat isi kering dan kadar air dapat menggunakan rumus dengan metode [13] :

$$W_{wb} = \frac{W_b \cdot W}{1 + W_b} \quad (1)$$

dimana W adalah berat tanah, W_b kadar air yang dibutuhkan.

Untuk pengujian CBR yaitu menggunakan Mold CBR berukuran diameter (152,40 + 0,66) mm dan tinggi (177,80 + 0,46) mm cetakan harus disambung (*extension collar*) dengan tinggi + 50 mm. Kemudian sampel dengan 5 lapisan dilakukan penumbukan dengan masing-masing lapisan 10, 35, 65 tumbukan. Untuk mencari nilai CBR diketahui hambatan pada tanah stabilisasi dapat menggunakan rumus:

$$\text{CBR} = (\text{beban terkoreksi}) : (\text{beban standar}) \quad (2)$$

Rumus yang digunakan untuk pengujian *Atterberg* dapat ditelusuri pada Persamaan (3) sampai dengan Persamaan (5) [13]. Perhitungan pertama terkait nilai batas cair (*liquid limit*). Cara menentukan batas cair dapat menggunakan data dari jumlah pukulan dan kadar air. Rumus yang digunakan adalah :

$$LL = W_c \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121} \quad (3)$$

dimana LL adalah batas cair, W_c adalah kadar air pada saat tanah menutup, N adalah jumlah pukulan pada kadar air W_c. Selanjutnya perhitungan dilakukan untuk menghitung Indeks plastisitas (*plasticity index*). Untuk mencari nilai indeks plastisitas dapat menggunakan persamaan (4).

$$IP = LL - PL \quad (4)$$

dimana IP adalah indeks plastisitas, LL adalah batas cair, PL adalah batas plastis. Setelah itu, prosedur dilanjutkan untuk menghitung Batas Susut (SL). Untuk mencari nilai batas susut dapat menggunakan persamaan (5).

$$SL = w - \frac{V_1 - V_2}{W} \quad (5)$$

dimana SL adalah batas susut, V₁ adalah volume tanah basah, W adalah berat tanah kering, V₂ adalah volume tanah kering, w adalah kadar air tanah basah.

3. HASIL PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Lempung Asli

Pengujian propertis dan CBR tanah asli dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tanah Lempung Asli

Sifat Mekanis Tanah	
CBR 95%	1,79
CBR 100%	2,79
Nilai Propertis Tanah Asli	
Batas Plastis (PL) %	27,36
Batas Cair (LL) %	57,93
Plastis Indeks (PI) %	30,58

Nilai CBR tanah asli yang di dapat dari pengujian di laboratorium sebesar 1,79%. Nilai yang didapat tidak memenuhi syarat spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (revisi 3) yaitu $\geq 6\%$. Kategori tanah asli yang didapat memiliki nilai CBR yang rendah, maka perlu dilakukan perbaikan tanah asli dengan stabilisasi variasi abu tandan kelapa sawit dan semen agar melihat presentase nilai CBR. Penentuan klasifikasi tanah di atas adalah menggunakan grafik plastisitas sistem *unified* dan juga dengan melihat batas cair dari sampel tanah yang mempunyai nilai LL= 57,93, LL > 50 yang berarti tergolong tanah berplastis tinggi. Sedangkan indeks plastisitas yang didapat 30,58% bahwa tanah ini termasuk tanah yang mempunyai tingkat pengembangan yang tinggi, yaitu IP > 22%.

Analisis Pengujian Tanah Lempung + Variasi Abu Tandan Kelapa Sawit 15% Dan Semen 10%

Pengaruh penambahan tanah lempung menggunakan abu tandan sawit dan semen berbagai variasi 5%, 10%, 15% dan 10% dan semen 10 %. Setelah melakukan pengujian maka hasil yang sangat terbesar nilai CBR yang dilakukan pengujian laboratorium adalah abu tandan kelapa sawit 15% dan semen 10%. dapat dilihat hasil pengujian pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tanah Lempung + Variasi Abu Tandan Kelapa Sawit 15% dan Semen 10%

Sifat Mekanis Tanah lempung ATKS 15%	
CBR 95%	69,00
CBR 100%	70,05
Nilai Propertis Tanah Lempung ATKS 15%	
Batas Plastis (PL) %	28,79
Batas Cair (LL) %	49,76
Plastis Indeks (PI) %	20,97

Abu tandan kelapa sawit 15% dan semen 10% terjadi penurunan pada batas plastis dan plastis indeks di karenakan penambahan ion muatan positif dalam air pori pada tanah, sehingga terjadi tarik menarik antara ion negatif dari partikel tanah dengan ion positif dari Abu Tandan Sawit dan semen. Terjadinya peristiwa ini akan mengakibatkan berkurangnya daya tarik antara partikel [13].

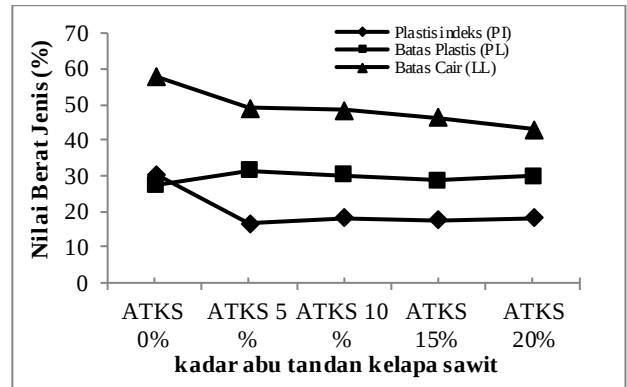
Analisa Data Sifat Fisis Pengujian Tanah Lempung + Variasi Abu Tandan Kelapa Sawit dan Semen

Hasil gabungan pengujian sifat fisis *Atterberg* dapat di lihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Gabungan pengujian sifat fisis *Atterberg* dapat di lihat pada tabel

Pa-rameter	ATKS 0%	ATKS 5%	ATKS 10%	ATKS 15%	ATKS 20%
Batas cair (LL)	57,93	49,08	48,26	46,43	43,16
Batas Plastis (PL)	27,36	31,35	30,2	28,79	29,94
Plastis indeks (PI)	30,58	16,73	18,06	17,64	18,22

Pengaruh penambahan abu tandan sawit dan semen terhadap berat jenis tanah lempung dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik gabungan pengujian *atterberg*

Berdasarkan gambar di atas semakin tinggi variasi abu tandan kelapa sawit dan semen pada tanah lempung maka cenderung menurun nilai batas cair (PL) dan batas plastis (PL), sehingga menyebabkan penurunan nilai indeks plastis. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase abu tandan kelapa sawit dan semen yang di campur dengan tanah lempung, maka tanah campuran tersebut semakin baik karena berkurangnya sifat plastisitas pada tanah asli.

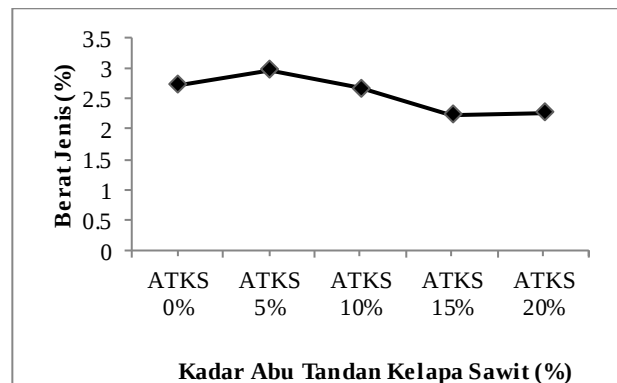
Pengujian Berat Jenis

Hasil pengujian berat jenis pada tanah lempung variasi abu tandan kelapa sawit dan semen dapat lihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tanah Lempung + Variasi Abu Tandan Kelapa Sawit 15% dan Semen 10%

Pa-rame-ter	Tanah Lempung	ATKS 5 %	ATKS 10 %	ATKS 15 %	ATKS 20 %
GS	2,722	2,960	2,673	2,225	2,271

Pengaruh penambahan abu tandan sawit dan semen terhadap berat jenis tanah dapat dilihat pada Gambar 2.

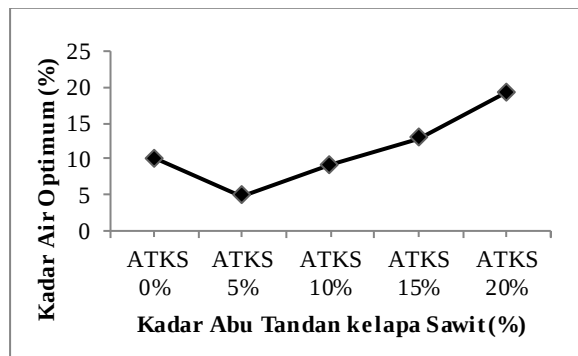


Gambar 2. Grafik penambahan Tanah Lempung + Variasi ATKS dan Semen

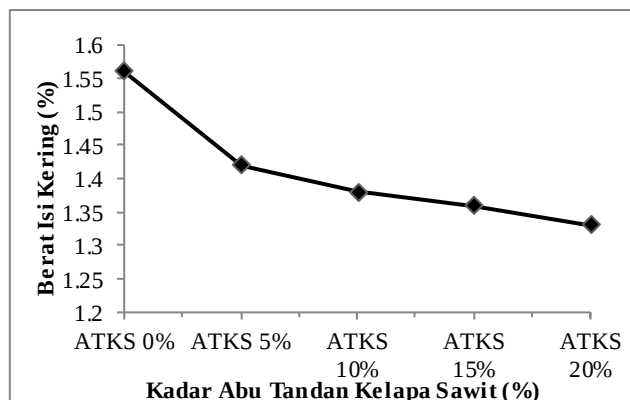
Pada gambar di atas nilai berat jenis akan terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase abu tandan kelapa sawit dan semen yang digunakan.

Pengujian Pemadatan

Hasil pengujian pemadatan (*compaction*) dengan metode *standard proctor* dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Semakin meningkatnya persentase kadar abu tandan kelapa sawit dan semen nilai berat isi kering yang semakin turun dari tanah lempung asli dan kadar air optimum yang semakin meningkat.



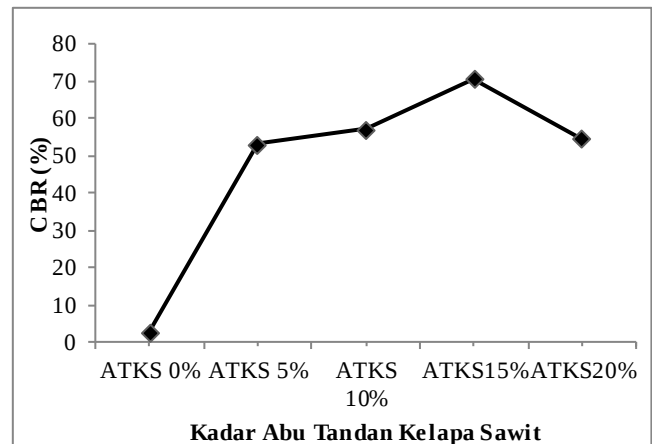
Gambar 3. Grafik Gabungan Kadar Air pada Kondisi Optimum



Gambar 4. Grafik Gabungan Berat Isi Kering Maksimum pada Kondisi Optimum

Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Dari hasil pengujian CBR pada campuran abu tandan kelapa sawit dan semen, hampir pada semua parameter terjadi perubahan yang semakin meningkat sebanding dengan kenaikan prosentase jumlah ATK 5%, 10%, 15%, 20% dan semen 10%. Hal ini terjadi substitusi isomorf silika dan hara pada abu tandan kelapa sawit dan semen. sehingga lempung terflokulasi dan akibat dilakukannya proses pemadatan maka kepadatan lempung bertambah karena rongga antar butiran semakin kecil dan pada akhirnya meningkatkan nilai CBR dari lempung tersebut. Kenaikan nilai CBR tanah setelah distabilisasi dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Hasil Pengujian CBR tanah lempung variasi abu tandan kelapa sawit dan semen

Dari pengujian hubungan antara nilai CBR dan kadar air didapat diperoleh nilai CBR tanah asli nilai CBR hanya 1,79 % menunjukkan bahwa nilai tersebut tidak memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dimana persyaratan nilai $CBR \geq 6\%$. Dengan adanya penambahan abu tandan kelapa sawit 15% dan semen 10% dengan nilai CBR maksimum adalah 70,5% maka sudah sesuai spesifikasi.

Penambahan Abu Tandan Kelapa Sawit dan semen pada tanah lempung dapat meningkatkan nilai CBR tanah. Penelitian sebelumnya [13] juga memperlihatkan peningkatan nilai CBR tanah lempung dengan penambahan 7,5 % Abu Tandan Kelapa Sawit dan 10% semen. Penambahan Abu Tandan Kelapa Sawit dan semen dapat meningkatkan nilai CBR pada tanah lempung. Semakin banyak persentase Abu Tandan Kelapa Sawit dan semen maka nilai CBR tanah akan semakin meningkat, nilai berat isi kering tanah semakin menurun, dan nilai plastisitas tanah akan menurun.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah variasi Abu Tandan Kelapa Sawit 15% dan semen 10% menghasilkan nilai CBR sebesar 70,5% sedangkan nilai CBR tanah asli sebesar 1,79%. Nilai CBR yang didapat memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dimana persyaratan nilai $CBR \geq 6\%$. Penambahan Abu Tandan Kelapa Sawit dan semen dapat meningkatkan nilai CBR pada tanah lempung. Semakin banyak persentase Abu Tandan Kelapa Sawit dan semen maka nilai CBR tanah akan semakin meningkat, nilai berat isi kering tanah semakin menurun, dan nilai plastisitas tanah akan menurun.

Saran

Adapun saran dari hasil penelitian stabilisasi tanah lempung menggunakan abu tandan sawit dan semen

terhadap nilai CBR adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan abu tandan sawit dan gipsum dengan menggunakan tanah lempung, gipsum yang dicampur tanah lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium. Abu tandan kelapa sawit mengandung senyawa silika dan gipsum mengandung senyawa kalsium yang dapat mengikat tanah lempung organik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Otunyo dan 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.
- [2] C. M. Nwakaire, U. C. Evaristus, dan O. C. Elijah, "Effect of Untreated Oil Palm Fruit Fibre on the Engineering Properties of Road Construction Earth Materials," *Res. Sq.*, pp. 1–26, 2020, doi: 10.21203/rs.3.rs-38664/v1.
- [3] S. Striprabu, S. N. L. Taib, N. M. Sa'don, dan A. Fauziah, "Chemical stabilization of Sarawak clay soil with class F fly ash," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 10, pp. 3029–3042, 2018.
- [4] A. Ridwan, A. I. Candra, E. Gardjito, dan Suwarno, "Experimental Study Additional Brantas Sands of Clay Density," in *International Conference On Science and Technology*, 2020, vol. 1569, no. 4, doi: 10.1088/1742-6596/1569/4/042030.
- [5] H. Solihu, "Cement Soil Stabilization as an Improvement Technique for Rail Track Subgrade, and Highway Subbase and Base Courses: A Review," *J. Civ. Environ. Eng.*, vol. 10, no. 3, 2020, doi: 10.37421/jcde.2020.10.344.
- [6] I. Indrayani, A. Herius, D. Saputra, dan 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.
- [7] N. Mohd Zambri dan Z. Md Ghazaly, "Peat Soil Stabilization using Lime and Cement," *E3S Web Conf.*, vol. 34, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1051/e3sconf/20183401034.
- [8] N. Panjaitan, "Pengaruh Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung," *J. Educ. Build.*, vol. 3, pp. 1–7, 2017.
- [9] H. Imam, Muhardi, dan 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.
- [10] G. Wibisono, S. A. Nugroho, dan 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.
- [11] P. Rai, H. Pei, F. Meng, dan M. Ahmad, "Utilization of Marble Powder and Magnesium Phosphate Cement for Improving the Engineering Characteristics of Soil," *Int. J. Geosynth. Gr. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2020, doi: 10.1007/s40891-020-00212-3.
- [12] H. E. Ali, N. K. Asmel, A. A. Ganiyu, dan H. Tijani, "Effect of sodium compounds additives on the strength of cement-stabilized soils," *Eng. Appl. Sci. Res.*, vol. 47, no. 3, pp. 287–296, 2020, doi: 10.14456/easr.2020.31.
- [13] M. Anggraini dan 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.
- [14] M. Miswar, S. Syaifuddin, dan 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.
- [15] G. R. Otoko, I. Fubara -Manuel, I. S. Chinweike, dan O. J. Oyeboode, "Soft Soil Stabilization Using Palm Oil Fibre Ash," *J. Multidiscip. Eng. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 1–5, 2016.
- [16] A. Muthia dan 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.