

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN ABU CANGKANG KELAPA SAWIT

STABILIZATION OF CLAY SOIL WITH PALM OIL ASH

Yusuf Fadillah¹, Insan Kamil^{2*}, Priyo Suroso³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil / Program Studi Rekayasa Jalan Dan Jembatan, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Cipto Manginkusumo Kampus Gunung Panjang, Kota Samarinda 75131, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail: ikamil@polnes.ac.id

Diterima 20-10-2021	Diperbaiki 24-10-2021	Disetujui 28-11-2021
---------------------	-----------------------	----------------------

ABSTRAK

Tanah lempung pada umumnya bersifat sangat kohesif, proses konsolidasi yang lambat dan, memiliki kadar kembang susut yang tinggi, dari permasalahan tersebut maka perlu dilakukan stabilisasi tanah. Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang kelapa sawit pada tanah lempung terhadap nilai CBR rendaman, faktor pengembangan dan kuat tekan bebas tanah dimana persentase penambahan abu cangkang kelapa sawit sebesar 6%, 8% dan 10% terhadap tanah kering dengan masa pemeraman selama 3 hari dan masa perendaman sampel CBR dan Swelling selama 4 hari. Pada penelitian ini tanah yang digunakan termasuk dalam kelompok A-7-5 berdasarkan klasifikasi AASHTO dengan nilai CBR rendaman tanah asli sebesar 1,90% dengan nilai pengembangannya sebesar 7,70% serta nilai kuat tekan bebasnya sebesar 6,745 Kg/cm². Pada pengujian CBR rendaman tanah yang dicampur dengan abu cangkang sawit terjadi peningkatan nilai CBR dengan nilai tertinggi sebesar 4,81% terjadi pada penambahan 10% abu cangkang sawit, lalu dari pengujian pengembangan terjadi penurunan nilai pengembangan tanah dengan nilai optimumnya sebesar 5,86% terjadi pada penambahan 8% abu cangkang sawit dan pada pengujian kuat tekan bebas pada penambahan 6% abu cangkang sawit terjadi penurunan nilai kuat tekan bebas tanah, namun pada persentase penambahan selanjutnya terjadi peningkatan nilai kuat tekan bebas dengan nilai optimumnya sebesar 9,903 Kg/cm² pada penambahan 8% abu cangkang sawit.

Kata kunci: Abu Cangkang Sawit, CBR Rendaman, Kuat Tekan Bebas, Tanah lempung, Pengembangan

ABSTRACT

In general clay soil are very cohesive, has a slow consolidation and has a high swelling factor, from these problems it is necessary to soil stabilization. The purpose of this research are to find out effect of palm oil ash on clay soil of (California Beraing Ratio) CBR Soaked value, swelling factor value and then Unconfined Compression Test value which is the percentage of added material are 6%, 8% and 10% of palm oil ash on dry soil with curing time 3 days on soil samples with soaked for 4 days. In this research the soil used was included in the A-7-5 group based on the AASHTO classification with the CBR Soaked value of the original soil are 1,90% and the value of Swelling Factor are 7,70% and then the value of Unconfined Compression Test are 6,745 Kg/cm². The result of CBR Soaked which mixed with added material of palm oil ash there was an increase in the CBR value with the highest value is 4.81% there was found in the addition of 10% palm oil ash, then from swelling factor test there was a decrease in the value of swelling factor with an optimum value of 5,86% occurred at the addition of 8% palm oil ash, and then in the Unconfined Compression Test at the addition of 6% palm oil ash there was a decrease in the value of unconfined compression but at the next percentage addition there was an increase in the value of unconfined compression with the optimum value of 9.903 Kg/cm² at the addition of 8% of palm oil ash.

Keywords: CBR Soaked, Clay Soil, Palm Oil Ash, Swelling Factor, Unconfined Compression

PENDAHULUAN

Dalam bidang kosntuksi salah satu fungsi tanah yaitu sebagai media paling ideal untuk meneruskan gaya – gaya yang bekerja diatasnya. Dalam beberapa kasus, khususnya untuk tebal lapis perkerasan apabila daya dukung tanah tidak memenuhi maka akan mudah terjadi jalan retak bergelombang bahkan berlubang dan hal itu dapat menurunkan kenyamanan dalam berkendara. Dari permasalahan tersebut maka perlu dilakukan stabilisasi tanah untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah yang diizinkan. Terdapat beberapa macam metode stabilisasi tanah diantaranya dengan menggunakan bahan campur yang berasal dari limbah – limbah industri. Salah satu industri terbesar yang ada di Kalimantan Timur yaitu indsutri kelapa sawit dengan 94 unit pabrik tersebar pada 7 kabupaten di Kalimantan Timur dengan Kapasitas terpasang mencapai 5005 ton dan kapasitas terpakai sebesar 4337 ton. Besarnya indsutri tersebut yang terus berkembang maka akan menghasilkan limbah yang cukup berlimpah diantaranya abu hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang dilakukan pabrik – pabrik untuk energi pembangkit listrik pada pabrik tersebut.

Muslimin (2018) [2] dengan penelitiannya yaitu Pengaruh Penambahan Gypsum Dan Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai CBR Dan *Swelling Factor* Pada Tanah Lempung, melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan gypsum dan abu cangkang kelapa sawit terhadap nilai CBR dan swelling faktor pada tanah lempung. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap sifat fisik tanah yang dilakukan di laboratorium, dan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) laboratorium dengan menggunakan kadar penambahan bahan stabilisasi *gypsum* ditetapkan 5% dan kadar abu cangkang sawit 0%, 5%, 7%, 9% dan 11% dengan masa pemeraman 3, 7, dan 14 hari. Pengujian CBR yang dilakukan adalah CBR *unsoaked* dan CBR *soaked*, dan melakukan pengujian *swelling* pada sampel tanah yang direndam selama 4 hari. Berdasarkan hasil pengujian nilai CBR tertinggi sebesar 24,55% pada persentase campuran *gypsum* 5% dan abu cangkang sawit 9%, dengan nilai pengembangan 0,121% dapat digunakan sebagai tanah dasar perkerasan jalan.

Dari penggambaran diatas maka perlu dilakukan penelitan yang bertujuan untuk melakukan perbaikan tanah lempung dan pemanfaatan limbah industri pengolahan kelapa sawit di Kalimantan Timur, dalam penelitian ini

dilakukan stabilisasi tanah lempung (*Clay*) dengan pemanfaatan limbah abu cangkang kelapa sawit (abu *boiler*) yang dimana pengujian ini meninjau terhadap nilai CBR (*California Bearing Ratio*) Rendaman, *Swelling* dan Kuat Tekan Bebas tanah di laboratorium.

METODOLOGI

Keseluruhan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Samarinda. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, diantaranya terdiri atas pengujian material berupa Tanah Lempung dan pembuatan benda uji untuk pengujian kuat tekan bebas dan CBR Tanah

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan yang berkaitan dengan pengujian sifat-sifat fisik tanah dan pengujian sifat mekanis tanah yaitu seperangkat alat uji CBR (*California Bearing Ratio*), alat uji Pengembangan (*Swelling*) dan alat uji Kuat Tekan Bebas

Tanah dalam penelitian yang digunakan adalah tanah lempung (kelompok A – 7) yang berasal dari daerah Sempaja Selatan Kecamatan Samarinda Utara Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Sampel tanah yang digunakan merupakan sampel tanah terganggu (*disturbed*), dimana pengambilan sampel tanah tersebut dengan cara dicangkul dan tidak dilakukan perlakuan khusus, dengan langsung dimasukkan kedalam karung. Abu cangkang kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini, merupakan abu cangkang sawit lolos saringan No. 200 yang berasal dari PT. Niagamas Gemilang bertempat di Desa Jonggon, Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kertanegara, Provinsi Kalimantan Timur.

Tahapan penelitian ini meliputi pengujian klasifikasi tanah asli yang terdiri dari pengujian aringan basah, atterberg limit dan berat jenis yang mana selanjutnya perancangan sampel uji tanah asli yang ditambahkan abu cangkang kelapa sawit dengan kadar persentase 6%,8% dan 10% terhadap berat kering tanah asli dan akan dilakukan pemeraman selama 3 hari.

Tahapan selanjutnya adalah pengujian sampel uji dimana jumlah benda uji pada pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

Tabel 1. Tabel Metode Pengujian Tanah Asli

No	Jenis Pengujian	Standar	Jumlah Sampel	Satuan
1	Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli			
	a. Analisa Saringan Basah	(SNI 3423:2008)	2	Buah
	b. Berat Jenis	(SNI 1964:2008)	2	Buah
	c. Batas Cair	(SNI 3422:2008)	2	Buah
	d. Batas Plastis	(SNI 3422:2008)	2	Buah
2	Pengujian Pemadatan Berat	(SNI 1742:2008)	5	Buah
3	Pengujian Kuat Tekan Bebas	(SNI 3638:2012)	2	Buah
	Jumlah Sampel		15	Buah

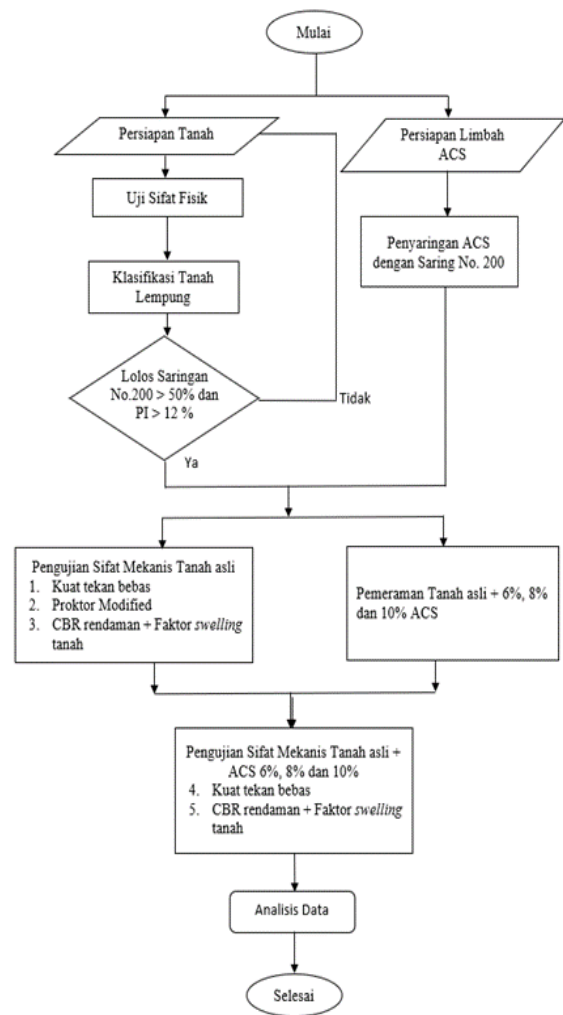
Tabel 2. Tabel Metode Pengujian CBR Soaked dan Swelling

Pengujian (SNI 1744: 2012)	Kode Benda Uji	Persentase Berat (%) Tanah	Abu Cangkang Sawit	Waktu Pemeraman + Perendaman (hari)	Jumlah Benda Uji
CBR Soaked dan Swelling	Tanah Asli	100	0	0 + 4	2
	ACS.6	94	6	3 + 4	2
	ACS.8	92	8	3 + 4	2
	ACS.10	90	10	3 + 4	2
	Jumlah Benda Uji				8

Tabel 3. Tabel Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian (SNI 3638: 2012)	Kode Benda Uji	Persentase Berat (%) Tanah	Abu Cangkang Sawit	Waktu Pemeraman (hari)	Jumlah Benda Uji
Kuat Tekan Bebas	ACS.6	94	6	3	2
	ACS.8	92	8	3	2
	ACS.10	90	10	3	2
	Jumlah Benda Uji				6

Tahap selanjutnya adalah pengumpulan dan pengolahan data yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan. Gambar bagan alir penelitian dapat disajikan pada gambar berikut



Gambar 1. Bagan Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tanah Asli

Pengujian sifat fisik tanah asli

Hasil pengujian sifat fisik tanah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

No	Jenis Pengujian	Satuan	hasil
1	kadar air asli	%	19.76
2	berat jenis		2.53
3	batas cair	%	50.65
4	batas plastis	%	30.23
5	indeks plastisitas	%	20.42
6	lolos saringan no.200	%	88.40
7	klasifikasi tanah (aashto)		A-7-5

Klasifikasi tanah

Berdasarkan data hasil dari pengujian analisis saringan basah, pengujian batas cair dan batas plastis yang telah dilakukan, dapat diketahui jenis dan karakteristik tanah dengan menggunakan sistem klasifikasi AASHTO

selanjutnya dapat diketahui bahwa sampel tanah yang digunakan memiliki nilai batas cair 50,65%, batas plastis PL 20,42%, Indeks Plastisitas 30,23% dan nilai GI sebesar 28,3724 dapat diklasifikasikan termasuk dalam kelompok A-7-5 yang memiliki jenis tanah berlempung dengan penilaian umum untuk tanah dasar sedang sampai buruk.

Tabel 5. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi Umum	Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)			
Klasifikasi Kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7
				A-7-5/A-7-6
Analisa Saringan (% lolos)				
200 mm (no.10)	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.40				
Batas cair (LL)	40 maks	41 mi	40 maks	41 min
Indeks Plastis (PI)	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (G)	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material pokok pada umumnya	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sedang sampai buruk			

Catatan :

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL), Untuk PL > 30, Klasifikasinya A-7-5, Untuk PL < 30, Klasifikasinya A-7-6, Np = Nonplastis

Pengujian sifat mekanis tanah asli Hasil pengujian sifat mekanis tanah asli dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Pengujian Sifat Mekanis Tanah Asli

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil
1	berat volume kering maksimum	gr/cm ³	1.66
2	kadar air optimum	%	15.60
3	kuat tekan bebas	kg/cm ²	6.74
4	CBR rendaman	%	1.90
5	pengembangan	%	7.70

B. Pengujian Sifat Mekanis Tanah Dengan Campuran Abu Cangkang Sawit CBR rendaman dan Pengembangan

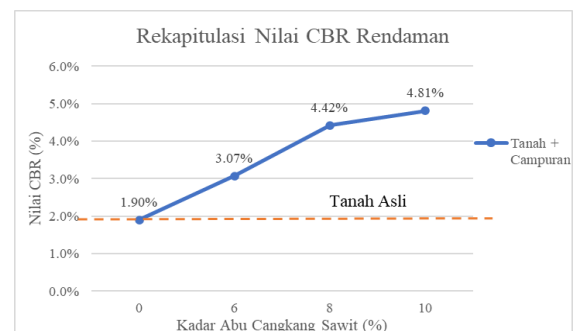
Dalam Pengujian CBR rendaman dan Pengembangan ini dilakukan sebanyak 2 sampel. Pengujian ini dilakukan pada tanah yang telah dicampur dengan variasi persentase 6%, 8% dan 10% abu cangkang sawit dengan

masa pemeraman selama 3 hari dan dilakukan perendaman selama 4 hari. Hasil pengujian CBR rendaman dapat dilihat pada lampiran. Rekapitulasi hasil pengujian CBR rendaman pada tanah yang ditambah bahan abu cangkang sawit dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 7. Rekapitulasi Nilai CBR Rendaman Tanah

Variasi	ACS	Sampe I 1	Sampe I 2	Rata - Rata
Tanah + ACS 6%	6%	3.71%	2.43%	3.07 %
Tanah + ACS 8%	8%	4.08%	4.77%	4.42 %
Tanah + ACS 10%	10 %	5.34%	4.28%	4.81 %

Ket : ACS = Abu Cangkang Sawit



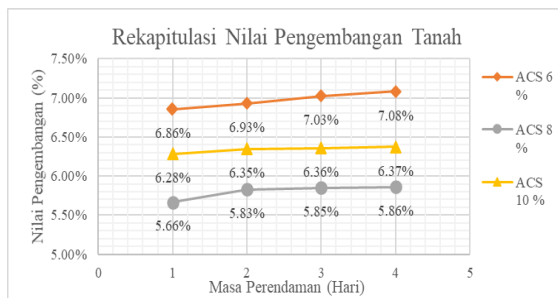
Gambar 2. Rekapitulasi Nilai CBR Rendaman Tanah + Campuran

Pada sampel Pengujian CBR rendaman dapat diketahui pula nilai pengembangannya, yang dimana perendaman dilakukan selama 4 hari dan rekapitulasi hasil pengujian pengembangan tanah yang ditambahkan bahan abu cangkang sawit dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Pengembangan Tanah + Campuran

Nilai Pengembangan Tanah				
Kadar ACS (%)	Perendaman (Hari)			
	1	2	3	4
ACS 6	6.86%	6.93%	7.03%	7.08%
ACS 8	5.66%	5.83%	5.85%	5.86%
ACS 10	6.28%	6.35%	6.36%	6.37%

Ket : ACS = Abu Cangkang Sawit



Gambar 3. Rekapitulasi Nilai Pengembangan Tanah + Campuran

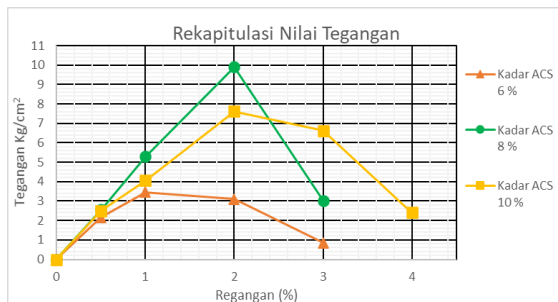
Kuat Tekan Bebas

Hasil pegujian Kuat Tekan Bebas dengan penambahan bahan abu cangkang sawit dapat dilihat pada tabel dan gambar sebagai berikut.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah + Campuran

Kuat Tekan Bebas		Nilai q_u			Satuan
Variasi	ACS	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata	
Tanah + ACS 6%	6%	4.068	3.461	3.765	kg/cm ²
Tanah + ACS 8%	8%	10.492	9.314	9.903	kg/cm ²
Tanah + ACS 10%	10%	8.265	7.012	7.639	kg/cm ²

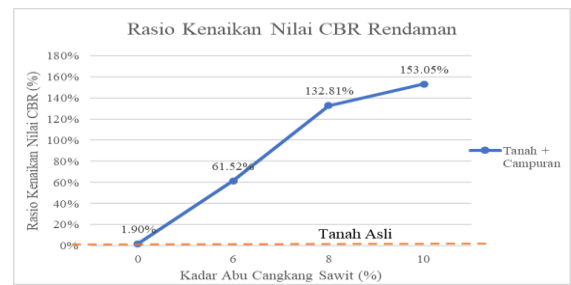
Ket : ACS = Abu Cangkang Sawit



Gambar 4. Rekapitulasi Nilai Tegangan Pada Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah + Campuran

C. Pembahasan Hasil Pengujian CBR rendaman dan pengembangan

Dapat diketahui pengaruh penambahan abu cangkang sawit pada tanah asli mampu meningkatkan nilai CBR rendaman dengan rasio kenaikan pada sampel dengan kadar campuran 6 % abu cangkang sawit sebesar 61.52 %, sampel dengan kadar campuran 8 % abu cangkang sawit sebesar 132.81 % dan sampel dengan kadar campuran 10 % sebesar 153.05 %. Yang dimana selanjutnya dari hasil diatas dapat dituangkan dalam gambar grafik rasio kenaikan nilai CBR rendaman sebagai berikut.



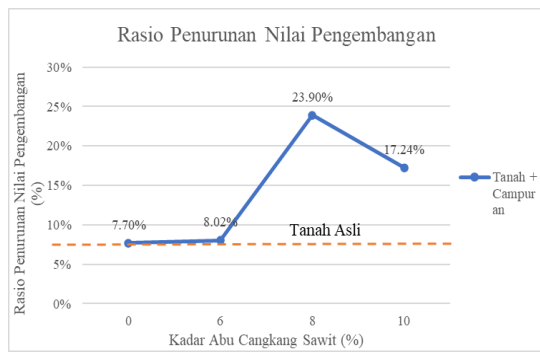
Gambar 5. Rasio Kenaikan Nilai CBR rendaman Tanah + Campuran

Penambahan abu cangkang sawit pada tanah asli dapat meningkatkan nilai CBR, dengan peningkatan nilai CBR pada persentase 6 % sebesar 3,07 %, pada persentase 8 % sebesar 4,42 % dan pada persentase 10 % dengan nilai sebesar 4,81 %, dapat diketahui pula semakin besar kadar persentase abu cangkang sawit maka nilai CBR akan meningkat.

Peningkatan nilai CBR dapat disebabkan karena reaksi abu cangkang sawit yang mengandung kadar silika yang tinggi dan menyebabkan abu cangkang sawit memiliki sifat seperti pozzolan yang mana reaksi pozzolan akan menyebabkan terjadinya pengikatan seperti semen sehingga membentuk gumpalan – gumpalan yang lebih besar dan memperbaiki gradasi butiran tanah lempung maka akan meningkatkan nilai CBR pada tanah.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muslimin (2018) [2] nilai CBR rendaman optimum diperoleh pada penambahan abu cangkang sawit 9% sebesar 18,83%, namun pada kadar abu cangkang sawit 11% mengalami penurunan dengan nilai CBR sebesar 15,02%, yang mana hipotesa sementara dari penelitian ini dan penelitian yang dilakukan oleh Muslimin (2018) [2] pada persentase penambahan 10% abu cangkang sawit, nilai CBR rendaman masih dapat meningkat lalu pada persentase diatas 10% abu cangkang sawit terjadi penurunan nilai CBR rendaman.

Selanjutnya dari sampel CBR rendaman didapat pula nilai pengembangan dan dapat digambarkan pada gambar berikut.



Gambar 6. Rasio Penurunan Nilai Pengembangan Tanah + Campuran

Pada sampel tanah dengan penambahan 6 % abu cangkang sawit, nilai pengembangannya mengalami penurunan yaitu sebesar 7,08 % dan pada sampel tanah dengan penambahan 10 % abu cangkang sawit mengalami penurunan pula dengan nilai pengembangan sebesar 6,37 %. Namun nilai pengembangan terkecil terjadi pada sampel tanah yang ditambahkan 8 % abu cangkang sawit, dengan nilai pengembangan sebesar 5,86 %. Maka kadar persentase optimum penambahan abu cangkang sawit untuk pengujian pengembangan tanah terjadi pada kadar variasi 8 % abu cangkang sawit.

Dengan ditambahkannya abu cangkang sawit maka dapat dilihat akan memperkecil nilai pengembangannya, dengan nilai optimum pengembangannya terdapat pada kadar 8% abu cangkang sawit, hal ini disebabkan karena abu cangkang sawit dapat mempengaruhi indeks plastisitas dan gradasi butiran tanah lempung serta daya serap air dari abu cangkang sawit itu sendiri.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muslimin (2018) [2] dengan penambahan bahan stabilisasi gypsum dan abu cangkang sawit didapat nilai pengembangan optimumnya pada persentase campuran abu cangkang sawit sebesar 9% yang mana dapat dilihat hasil persentase penambahan abu cangkang sawit untuk mendapatkan nilai pengembangan yang optimum dari kedua penelitan ini tidak terlalu jauh berbeda.

Kuat tekan bebas tanah

Diketahui pengaruh penambahan bahan abu cangkang sawit terhadap tanah asli terjadi penurunan nilai kuat tekan bebas tanah pada sampel dengan kadar persentase 6 % abu cangkang sawit, dan mengalami peningkatan pada sampel dengan kadar persentase 8 % dan 10 % abu cangkang sawit dengan nilai optimum terjadi pada sampel dengan kadar persentase 8 % abu cangkang sawit.



Gambar 7. Rekapitulasi Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah

Penurunan nilai kuat tekan bebas pada kadar persentase 6% abu cangkang sawit disebabkan pada pengujian kuat tekan bebas ini tidak adanya pengekanan pada tanah sehingga yang diandalkan hanyalah sifat kohesif pada sampel uji tersebut. Pada kadar persentase penambahan selanjutnya yaitu 8% dan 10% mengalami peningkatan nilai kuat tekan bebas hal ini dapat disebabkan oleh reaksi abu cangkang sawit yang terkandung dalam tanah dengan kandungan mineral aktif, sehingga dapat bereaksi yang menyebabkan tanah menjadi lebih keras, lebih padat dan stabil (Makupiola dkk, 2021) [1] Diketahui nilai kuat tekan bebas pada persentase penambahan 10% abu cangkang sawit terjadi penurunan hal ini dapat disebabkan karena penyerapan air akan terjadi lebih besar sehingga akan mempengaruhi kadar air optimum untuk sampel uji tersebut.

Pernyataan tersebut didukung oleh Makupiola dkk (2021) [1] yang melakukan uji kuat tekan bebas terhadap sampel tanah lempung yang ditambahkan dengan abu cangkang sawit dengan kadar variasinya sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dimana menunjukkan hasil terjadi penurunan nilai kuat tekan bebas terhadap tanah asli pada persentase kadar abu cangkang sawit 3% dan 6% selanjutnya mengalami peningkatan dengan nilai optimum kuat tekan bebasnya terdapat pada kadar variasi penambahan 12% abu cangkang sawit dan mengalami penurunan nilai kuat tekan bebas kembali pada persentase 15% abu cangkang sawit

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan pengaruh dari penambahan abu cangkang sawit dengan variasi 6%, 8%, dan 10% dapat meningkatkan nilai CBR rendaman dengan nilai masing – masing sebesar 3,07%, 4,42%, dan 4,81%, serta dapat

menurunkan nilai pengembangan tanah yang mana nilai pengembangannya masing – masing sebesar 7,08% 5,86%, dan 6,37%. Hasil pengujian kuat tekan bebas pada persentase penambahan 6% abu cangkang sawit terjadi penurunan dengan nilai sebesar 3,765 kg/cm² namun pada persentase 8% dan 10% mengalami peningkatan nilai kuat tekan bebas dengan nilai masing – masing sebesar 9,903 kg/cm² dan 7,639 kg/cm².

Maka diperoleh kadar persentase paling optimum untuk penambahan abu cangkang sawit terjadi pada campuran variasi 8% abu cangkang sawit dimana dapat meningkatkan nilai CBR rendaman dan kuat tekan bebas tanah yang termasuk dalam konsistensi lempung keras serta menurunkan nilai pengembangan pada tanah dimana mendekati dalam klasifikasi pengembangan tanah sedang (medium swelling).

SARAN

Untuk memperdalam penelitian ini adapun penulis menyarankan penelitian selanjutnya dapat meneliti untuk pengujian pemadatan dan geser langsung pada sampel tanah yang telah dicampur dengan bahan tambah abu cangkang sawit serta dapat melakukan pengujian sifat fisik tanah terhadap sampel tanah yang telah dicampurkan bahan tambah abu cangkang sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis hendak mengucapkan terima kasih kepada pihak yang turut membantu sehingga dapat terselesaikan jurnal ini. Ucapan terima kasih terutama diucapkan kepada para dosen pembimbing saya dan juga keluarga serta rekan – rekan tim Mekanika Tanah beserta Kepala Laboratorium dan jajarannya,

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. A. Makupiola, R. Rachman, and I. L. K. Wong, "Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit pada Tanah Lempung dengan Uji Direct Shear," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 267–275, 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i2.256.
- [2] M. H. Muslimin, "Pengaruh Penambahan Gypsum dan Abu Cangkang Kelapa Sawit

Terhadap Nilai CBR dan Swelling Factor pada Tanah Lempung," Tugas Akhir, p. Universitas Islam Indonesia, 2018.

- [3] Y. Sotejo, R. Dewi and H. Yudhistira, "Pengaruh Penambahan Abu Tandan Sawit dan Gypsum Terhadap Tanah Lempung Lunak Berdasarkan Pengujian CBR," *The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung*, 2015.