



Analisis Sifat Tanah Lempung Lunak yang Di Stabilisasi Dengan Limbah Ban Karet dan *Fly Ash*

Hasrullah¹, Hasan Bisri²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

¹hasrullah.ray@borneo.ac.id*, ²hasabisri@gmail.com

Abstract

Soft soil in construction is often a problem. This is because the bearing capacity of the soil is very low. Various soil improvement methods have been developed, one of which is the soil stabilization method. This study aims to investigate the effect of the addition of waste rubber tires and fly ash as stabilizer materials on changes in the physical and mechanical properties of soft clay soil. In addition, the effect of the length of curing of the soil mixture with stabilizer was also observed. After identifying the clay soil locally, the clay soil was mixed with stabilizer materials at several percentages (5%, 10%, 15% and 20%), which were then cured for 7, 14, and 28 days before testing the physical and mechanical properties. The results revealed that rubber tire powder plus fly ash mixed in soft clay soil had a positive effect on the physical and mechanical properties of the soil. The results of the consistency limits test showed a decrease in moisture content by 53.23% and the plasticity index (PI) value of the soil by 27.32% from its original condition. This decrease depends on the length of the soaking period. In addition, the CBR test results also increased significantly. The largest data value was obtained at 20% stabilizer mixing with 28 days of curing time by 10.32%. This shows that rubber tire powder and fly ash can work well as a binder (pozzolan) because they can bind the soil so that the carrying capacity of the soil increases.

Keywords: Rubber Tires, Soil Repair, Soft Clay

Abstrak

Tanah lunak dalam konstruksi sering menjadi permasalahan. Hal ini disebabkan karena daya dukung tanah tersebut sangat rendah. Berbagai metode perbaikan tanah telah banyak dikembangkan, salah satunya dengan metode stabilisasi tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki bagaimana pengaruh penambahan limbah ban karet dan *fly ash* sebagai bahan stabilizer terhadap perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung lunak. Di samping itu pengaruh lamanya pemeraman campuran tanah dengan bahan stabilizer juga diamati. Setelah mengidentifikasi tanah lempung secara lokal, tanah lempung tersebut dicampurkan dengan bahan stabilizer dengan beberapa persentase (5%, 10%, 15% dan 20%) yang selanjutnya di peram selama 7, 14 dan 28 hari sebelum dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanisnya. Dari hasil penelitian mengungkapkan bahwa serbuk ban karet yang ditambah *fly ash* yang dicampurkan pada tanah lempung lunak berpengaruh positif terhadap sifat fisis dan mekanis tanah. Hasil pengujian batas-batas konsistensi menunjukkan terjadinya penurunan kadar air sebesar 53,23% dan nilai indeks plastisitas (PI) tanah sebesar 27,32% dari kondisi insialnya. Penurunan ini tergantung pada lamanya masa peram. Selain itu dari hasil pengujian CBR, juga mengalami peningkatan nilai secara signifikan. Nilai data terbesar diperoleh pada pencampuran bahan stabilizer 20% dengan waktu pemeraman 28 hari sebesar 10,32%. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk ban karet dan *fly ash* dapat bekerja baik sebagai bahan pengikat (*pozzolan*) karena dapat mengikat tanah sehingga nilai daya dukung tanah meningkat

Kata kunci: Ban Karet, Perbaikan Tanah, Tanah Lempung Lunak

Diterima Redaksi : 2025-01-24 | Selesai Revisi : 2025-05-07 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Limbah yang dihasilkan manusia setiap tahun terus meningkat. Limbah dalam jumlah besar dihasilkan di seluruh dunia setiap tahunnya dengan laju yang terus meningkat. Lebih dari 1.000.000.000 ban dibuang setiap tahunnya [1]. Limbah ban seringkali mengakibatkan pencemaran dan degradasi lingkungan bila tidak dikelola dengan baik. Upaya untuk memanfaatkan

kembali limbah ini sangat membantu dalam melestarikan lingkungan. Limbah-limbah ini dapat dikelola dengan berbagai cara, diantaranya dengan cara pembakaran, penimbunan ditempat pembuangan akhir, atau mendaur ulang. Selain itu, menambahkan karet ke tanah dapat efektif dalam sifat mekanis tanah berbutir halus dan kasar [2]. Mengingat bobotnya yang ringan dan kekuatannya yang sesuai serta pertimbangan lingkungan, ban bekas selalu menarik untuk aplikasi



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

teknik sipil, termasuk persiapan beton, pelapis tempat pembuangan sampah dan sistem kedap air dan aspal [3]. Selain itu karena sifat geotekniknya yang menarik, seperti daya tahan, dan densitas curah yang rendah, ban bekas dapat dicampur dengan tanah dan dapat digunakan dalam proyek geoteknik seperti dinding penahan. Daya tahan campuran tanah-karet juga sangat penting dan telah diselidiki dalam banyak penelitian [3]. Meskipun potensi aplikasinya sangat luas, penelitian yang dilakukan pada campuran tanah lempung dan ban bekas masih terbatas. Demikian halnya dengan *fly ash*, yang merupakan salah satu residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik dan tersusun dari partikel-partikel halus. *Fly ash* memiliki titik leleh hingga 1300°C dan memiliki kerapatan massa (densitas) pada kisaran 2,0-2,5/cm³, selain itu *fly ash* mampu mengoksidasi silikon dioksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), tembaga oksida (Fe₂O₂) dan kalsium (Ca) sehingga dapat dikatakan bahwa *fly ash* memiliki kesamaan dengan semen [4]. Tidak hanya *fly ash*, ban karet yang sering kita temui sebagai limbah di lingkungan sekitar juga dapat di manfaatkan sebagai bahan *stabilizer* yang ramah lingkungan [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menyelidiki seberapa besar pengaruh penambahan limbah ban karet dan *fly ash* serta masa peram terhadap perubahan sifat fisik dan sifat mekanis tanah lempung lunak.
- Menentukan berapa persentase bahan *stabilizer* (*fly ash* dan abu ban karet) yang harus ditambahkan serta waktu peram (*curing time*) yang paling baik untuk mendapatkan hasil yang optimal.

2. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk penelitian deskriptif kuantitatif. Pada penelitian ini peneliti melakukan identifikasi dan deskripsi mengenai suatu fenomena tanpa berusaha menggambarkan hubungan sebab akibat. Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahapan, yaitu: tahap persiapan, tahap pekerjaan lapangan, tahap pengujian di laboratorium dan tahap analisis data.

Tahap Pengujian

- Pengujian Indeks Properties tanah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisis dari tanah lempung lunak. Pengujian ini meliputi:

- ✓ Uji kadar air (*water content*) [6]
- ✓ Uji berat jenis (*specific gravity*) [7]
- ✓ Uji batas cair [8]
- ✓ Uji batas plastis, [9]

- Pengujian Pemadatan (*compaction*)

Pemadatan yang dilakukan di laboratorium berpedoman pada standar SNI. Pengujian ini bertujuan untuk nilai kadar air optimum dan kepadatan maksimum [10].

- Pencampuran Limbah Ban Karet, *fly ash* dengan Tanah Lempung. Variasi persentase dari bahan pencampuran benda uji yang terdiri dari tanah lempung, limbah plastik dan *fly ash* ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Variasi Persentase Bahan Pencampuran Benda Uji

Variasi	Persentase Pencampuran Benda Uji			Masa Peram			
	Tanah Lempung	Stabilizer					
	%	Abu Ban (%)	Fly Ash (%)	(Hari)			
1	85	5	10	0	7	14	28
2	80	10	10	0	7	14	28
3	75	15		0	7	14	28

- Pengujian CBR Laboratorium (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR dilakukan untuk mengetahui kekuatan tanah. Prosedur pengujian berpedoman pada standar SNI [11]. Variasi campuran tanah yang digunakan sebagai sampel uji adalah variasi campuran seperti yang terlihat pada Tabel 1.

3. Hasil dan Pembahasan

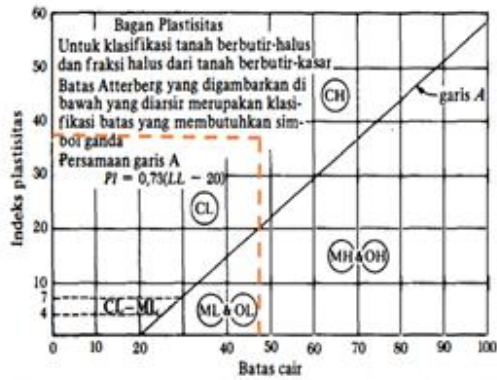
A. Tanah Asli

Sifat Fisik Tanah Kondisi Asli (*Initial Condition*)

Berikut ini adalah hasil pengujian sifat fisik tanah kondisi asli.

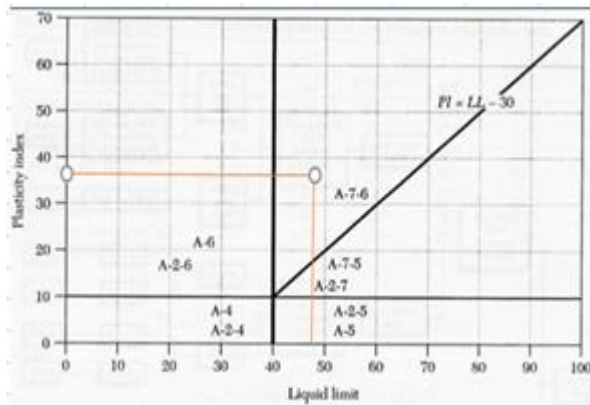
Tabel 2 Sifat Fisik Tanah Kondisi Asli

No.	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kadar air	74,54	%
2	Berat Jenis	2,69	
3	Analisa ukuran butiran		
	a. Gravel	0	%
	b. Sand	49	%
	c. Clay/Silty	51	%
4	Batas-batas <i>Atterberg Limit</i>		
	a. Batas cair (LL)	48,98	%
	b. Batas plastis (PL)	10,20	%
	c. Indeks plastis (IP)	38,78	%
5	Uji Pemadatan (Proctor)		
	a. Kadar air optimum	16,10	%
	b. Berat volume kering	1,62	gr/cm ³
6	Uji <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)		
	Kadar air	21,42	%



Gambar 1 Sistem Klasifikasi Tanah menurut USCS

Berdasarkan Gambar 1 sistem klasifikasi tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*), tanah ini termasuk tanah lempung lunak dengan plastisitas tinggi (CH). Sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi ASSHTO (Gambar 2), menunjukkan bahwa tanah tersebut termasuk dalam golongan A-7-6 dengan nilai indeks group 14,22. Sampel tersebut memenuhi syarat klasifikasi A-7-6 dikarenakan sampel yang lolos saringan 200 minimum 36% dengan *liquid limit* minimum 41% dan indeks plastis sebesar minimum 11% [12,13].



Gambar 2 Sistem Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Sifat Mekanis Tanah Kondisi Initial (*Initial Condition*)

a. Hasil Pengujian Pemadatan (*Compaction Test*)

Hasil pengujian pemadatan disajikan dalam Tabel 3 berikut

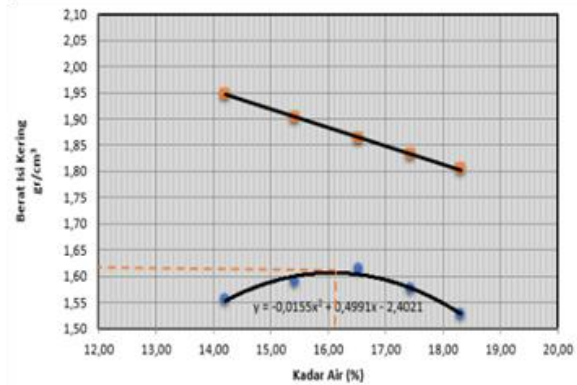
Tabel 3 Karakteristik Sifat Mekanis

No	Pengujian Sifat Fisik	Standart ASTM	Hasil	Satuan
1	Pemadatan (<i>Standart Proctor</i>)	D-698		
	Kadar air optimum (OMC)		16,10	%

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i2.1103>

No	Pengujian Sifat Fisik	Standart ASTM	Hasil	Satuan
	γ_d maks		1,62	%
2	<i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	D-633-1994	2,48	%

Hasil pengujian pemadatan berupa kadar air optimum dan berat isi kering pada Tabel 3 dan Gambar 3, akan digunakan sebagai patokan penambahan air pada sampel uji CBR.



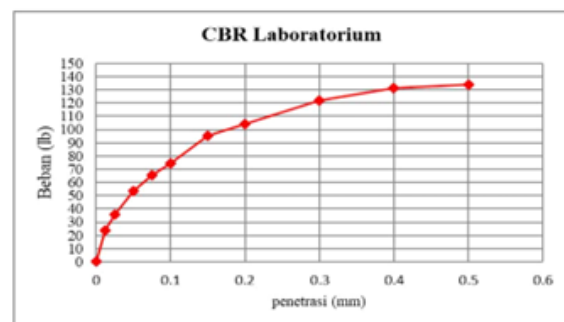
Gambar 3 Kadar Air Optimum dan Berat Isi kering

b. CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CRB (*California Bearing Ratio*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah, yaitu dengan membandingkan gaya perlawanan penetrasi piston terhadap tanah dengan gaya perlawanan yang serupa pada contoh standar berupa batu pecah. Hasil uji CBR pada tanah asli ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Hasil Pengujian CBR Tanah Asli

Penurunan (inci)	Beban (lbs)	CBR (%)
0,1	74,5	2,48
0,2	104,3	2,32



Gambar 4 CBR Tanah Asli

B. Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi dengan Bahan Stabilizer

Sifat Fisik Tanah Yang Distabilisasi

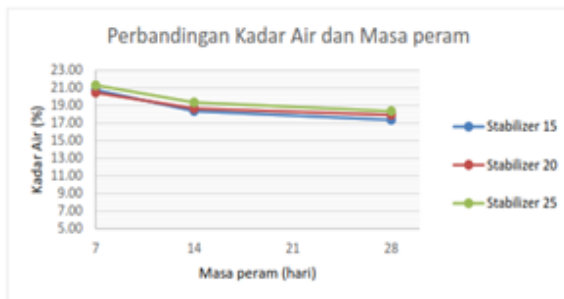
a) Kadar air (w)

Hasil uji kadar air pada tanah yang telah distabilisasi di ditampilkan pada tabel berikut

Tabel 5 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah Lempung Lunak Yang Telah Di Stabilisasi

Variasi Campuran	Kadar Air Optimum (%)	Masa Peram		
		7 hari	14 hari	28 hari
TA + Stabilizer 15%	16,10	20,79%	18,37%	17,36%
TA + Stabilizer 10%	16,10	20,48%	18,68%	17,93%
TA + Stabilizer 25%	16,10	21,31%	19,36%	18,36%

Dari Tabel 5 diatas terlihat bahwa pengaruh penambahan bahan *stabilizer* pada tanah lempung lunak terhadap perubahan kadar air mengalami penurunan. Pada kondisi awal, kadar air tanah asli sebesar 74,54% mengalami penurunan seiringnya dengan peningkatan penambahan persentase *stabilizer* dari 15% hingga 25%, hingga tersisa kadar air sebesar 18,36% dengan masa peram 28 hari. Ini mencerminkan bahwa terjadinya penyerapan air oleh *fly ash* dan serbuk ban karet yang sangat tinggi dalam tanah yang juga dipengaruhi oleh durasi waktu pemeraman, sehingga persentase kadar air tanah lempung menurun.



Gambar 5 Pengaruh Penambahan *Stabilizer* terhadap Kadar Air dan Masa Peram

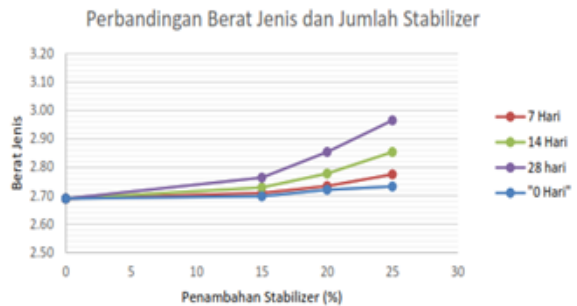
b) Berat Jenis

Perbandingan berat jenis pada sampel yang telah mengalami stabilisasi ditampilkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Uji Berat Jenis Sampel Yang Telah Distabilisasi

Variasi Campuran	Berat Jenis 0 hari	Masa Peram		
		7 hari	14 hari	28 hari
Tanah Asli (TA)	2,69	2,69	2,69	2,69
TA + Stabilizer 15%	2,70	2,71	2,73	2,76
TA + Stabilizer 10%	2,72	2,73	2,78	2,85
TA + Stabilizer 25%	2,73	2,78	2,85	2,97

Pada Tabel 6 hasil uji berat jenis menjelaskan bahwa penambahan campuran atau *Stabilizer* pada tanah lempung sangat berpengaruh terhadap berat jenis sampel, semakin tinggi penambahan *stabilizer* maka semakin besar pula peningkatan berat jenis sampelnya.



Gambar 6 Perbandingan Jumlah *Stabilizer* Dan Berat Jenis

c) Uji Analisa Saringan Tanah

Gradasi tanah yang telah mengalami stabilisasi memiliki gradasi yang cukup beragam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi pada variasi *clay* atau yang lolos saringan nomor 200 mengalami penurunan presentase. Beberapa sampel mengalami peningkatan pada variasi *gravel* atau yang tertahan pada saringan nomor 4.

Tabel 7 Gradasi Tanah Berdasarkan Uji Saringan

Masa Peram	Variasi Tanah	Tanah Asli	Stabilizer		
			15%	20%	25%
0 Hari	a. Gravel	0,00	-	-	-
	b. Sand	49,11	-	-	-
	c. Silty/Clay	50,89	-	-	-
7 Hari	a. Gravel	-	4,91	0,93	0,83
	b. Sand	-	97,49	99,88	99,70
	c. Silty/Clay	-	2,51	0,12	0,30
14 Hari	a. Gravel	-	3,87	8,68	5,45
	b. Sand	-	99,90	99,02	98,67
	c. Silty/Clay	-	0,10	0,98	1,33
28 Hari	a. Gravel	-	8,57	3,93	5,70
	b. Sand	-	99,80	98,34	99,86
	c. Silty/Clay	-	0,20	1,66	0,14

d) Uji Batas-Batas Atterberg Tanah Peram

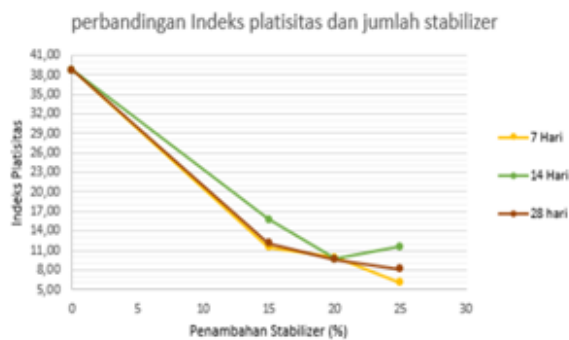
Pada sampel tanah yang telah distabilisasi mengalami peningkatan yang cukup bervariasi yang diakibatkan oleh masa peram dan jumlah *stabilizer* yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Pada batas cair dan batas plastis terlihat peningkatan yang cukup signifikan pada hari ke 28 dengan jumlah *stabilizer* sebanyak 25% dengan nilai 53,363. Indeks plastisitas

tertinggi terdapat pada hari ke 14 dengan penambahan stabilizer sebanyak 15% dengan nilai 15,748.

Tabel 8 Hasil Uji Batas-Batas Atterberg Tanah yang Dicampur dengan Stabilizer

Uji Atterberg	Tanah Asli	Stabilizer	7 Hari	14 hari	28 Hari
LL	48,979	15%	52,390	47,525	51,164
		20%	47,525	48,667	50,526
		25%	49,759	50,482	53,363
PL	10,196	15%	40,929	31,777	39,042
		20%	40,073	38,918	40,909
		25%	43,743	38,918	45,264
PI	38,783	15%	11,459	15,748	12,121
		20%	9,920	9,748	9,617
		25%	6,016	11,563	8,099

Pengaruh jumlah stabilizer terhadap peningkatan indeks plastisitas dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Perbandingan Jumlah Stabilizer dan Indeks Plastisitas

e) Berat Volume Tanah (γ)

Dari hasil pengujian berat volume tanah lempung yang telah di tambahkan stabilizer pada Tabel 9, tanah lempung yang tergolong dalam kelompok tanah yang mempunyai potensi perubahan volume yang cukup tinggi, karena rata-rata lempung mengalami pemuaian ketika kadar air bertambah. Penyusutan terjadi ketika kadar air berkurang sampai batas susut. Nilai berat volume kering (*dry density*) tanah berkurang seiring bertambahnya kadar air optimum.

Tabel 9 Hasil Pengujian Berat Volume Tanah Lempung Lunak Yang Telah Di Stabilisasi

Variasi	Uji Pemadatan	Hasil	Satuan
0%	Optimum Moisture Content (OMC)	16,10	%
	Max Dry Density (MDD)	1,62	gr/cm ³
15%	Optimum Moisture Content (OMC)	23,77	%
	Max Dry Density (MDD)	1,15	gr/cm ³

Variasi	Uji Pemadatan	Hasil	Satuan
20%	Optimum Moisture Content (OMC)	7,22	%
	Max Dry Density (MDD)	1,19	gr/cm ³
25%	Optimum Moisture Content (OMC)	25,81	%
	Max Dry Density (MDD)	1,22	gr/cm ³

Sifat Mekanis Tanah Yang Distabilisasi

CBR (California Bearing Ratio)

Hasil uji CBR (*California Bearing Ratio*) yang dilakukan pada tanah yang telah distabilisasi di tunjukkan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10 Nilai CBR Berdasarkan Pengujian California Bearing Ratio

Variasi	Nilai CBR Dalam Masa Peram				Nilai CBR Tanah Asli
	0 Hari	7 hari	14 Hari	28 Hari	
Stabilizer 15%	3,08	3,97	4,87	6,16	2,48
Stabilizer 20%	3,29	4,27	5,07	6,46	
Stabilizer 25%	3,68	4,47	5,26	7,25	

Tanah asli yang dicampurkan dengan bahan stabilizer mengalami peningkatan nilai CBR, seperti yang terlihat pada Tabel 10. Peningkatan nilai CBR ini disebabkan terjadinya ikatan kimiawi akibat penambahan *fly ash* dan abu ban karet. Penambahan ini menyebabkan pengikatan antar partikel tanah lempung lunak dengan bahan stabilizer yang semakin banyak sehingga kepadatan tanah akan meningkat.

Lama pemeraman yang dilakukan juga mempengaruhi besarnya peningkatan nilai CBR, hal ini dikarenakan *fly ash* memiliki sifat *pozzolan* yang menghasilkan kemampuan mengikat pada tanah. Efeknya adalah meningkatkan kohesi antar butiran dan meningkatkan kekuatan konsistensi tanah, hal ini yang menyebabkan tanah lempung lunak menjadi padat. Seperti yang terlihat dari Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Pengaruh Masa Peram dan Penambahan Stabilizer terhadap Nilai CBR

Penambahan *fly ash* dan abu ban karet sebagai *stabilizer* pada tanah lempung bersifat *pozzolanic*. Dari penambahan kedua *stabilizer* tersebut akan meningkatkan kepadatan tanah dan mengurangi kemampuan pengembangan atau *swelling*. Pada pemeraman tersebut nilai CBR maksimum terjadi pada masa pemeraman 28 hari pada *stabilizer* 25%.

Dari hasil penelitian ini, menegaskan kesesuaian campuran tanah lempung lunak dan karet sebagai material timbunan. Dari sudut pandang teknik dan praktis, penggunaan bahan *stabilizer* dapat mengurangi tekanan pada dinding penahan tanah sehingga dapat memangkas biaya konstruksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tanah lempung lunak yang dicampurkan bahan *stabilizer* berupa campuran serbuk ban karet dan *fly ash*, setelah dilakukan pengujian sifat fisik menunjukkan terjadinya penurunan kadar air, batas cair dan indeks plastisitasnya dari kondisi awal (*initial condition*). Sedangkan parameter berat volume tanah, *specific gravity* (Gs), dan *plastic limit* (PL) mengalami peningkatan. Nilai peningkatan dan penurunan yang terjadi secara signifikan juga berubah seiring dengan penambahan persentase bahan *stabilizer* dan penambahan waktu masa peram. Pada pengujian sifat mekanis tanah lempung lunak yang dicampurkan dengan bahan *stabilizer* terjadi perubahan nilai CBR. Dari hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan nilai CBR dari kondisi awal (*initial condition*). Peningkatan nilai CBR terjadi secara signifikan seiring dengan penambahan persentase bahan *stabilizer* dan penambahan waktu masa peram. Nilai CBR maksimum terjadi pada penambahan bahan *stabilizer* sebesar 25% dengan masa peram 28 hari sebesar 7,25% dari kondisi awal CBR tanah lempung 2,48%. Peningkatan nilai CBR terjadi disebabkan karena adanya proses *pozzolan* antara air yang terkandung dalam tanah dengan serbuk ban karet dan *fly ash* selama masa pemeraman sehingga tanah semakin padat

Evaluasi material untuk berbagai aplikasi geoteknik memerlukan studi terfokus yang membahas setiap subjek Diharapkan kedepannya penggunaan ban bekas

sebagai bahan *stabilizer*, di upayakan melalui pendekatan ekonomi sirkular, sehingga diharapkan dapat bermanfaat menanggulangi limbah ban di Indonesia

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan seluruh civitas akademik Universitas Borneo Tarakan atas fasilitas pembiayaan berupa bantuan dana pengelolaan riset yang disediakan oleh UBT melalui Riset Kompetensi Dosen (RKD) yang dikelola oleh LPPM UBT sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan berharap kedepannya lebih banyak lagi penelitian yang dapat dilakukan dengan fasilitas pembiayaan riset yang sejenis.

Daftar Rujukan

- [1] K Strukar, at al. Potential Use of Rubber as Aggregate in Structural Reinforced Concrete element. *Engineering Structures*, vol. 188, pp. 452-468. 2019.
- [2] Akbarimehr. D., Eslami. A., and Aflaki.E. Geotechnical Behaviour of Clay Soil Mixed with Rubber Waste. *Journal of Cleaner Production* vol 271. 2020.
- [3] Anvari. SM, at al. Effect of Granulated Rubber on Shear Strength of Fine-Grained Sand. *Journal of rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 9(5), pp.936-944. 2017.
- [4] Kusuma, R. I., & Mina, E. Stabilisasi Tanah Dengan Menggunakan Fly Ash Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 5(1). 2017. <https://doi.org/10.36055/Jft.V5i1.1251>
- [5] Ichsan, Muh.. Pengaruh Variasi Kandungan Zeolit sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Laterit Terhadap kuat Tekan. Tesis, Makassar, Universitas Hasanuddin. 2021.
- [6] SNI 1965-2008. *Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [7] SNI 1964-2008. *Cara Berat jenis tanah di laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [8] SNI 1967-2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [9] SNI 1966-2008. *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Jakarta, Indonesia. 2008.
- [10] SNI 1742-2008. *Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [11] SNI 1744-2012. 2012, *Metode Uji CBR Laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia
- [12] Terzaghi, K., Peck, R. B. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*, Erlangga, Jakarta. 1987.
- [13] Wesley. *Mekanika Tanah*, 6th edn, Badan Penerbit Pekerjaan Umum. 1977.