

PENGARUH PENAMBAHAN IJUK TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH DASAR PADA TANAH LEMPUNG (Studi Kasus di Aceh Barat Daya)

Dr. Maizuar¹⁾, T. Mudi Hafli²⁾, Subhan Fauzi³⁾, Nurhayati⁴⁾

^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia

Email: maizuar@unimal.ac.id¹⁾, t.mudi@unimal.ac.id²⁾,
subhan@mhs.unimal.ac.id³⁾, Nurhayati@gmail.com⁴⁾

Abstrak

Dari hasil penelitian dengan campuran ijuk beberapa variasi yaitu tanah asli, 0.2% ijuk, 0.3% ijuk, 0.4% ijuk dan 0.5% ijuk terlihat bahwa dengan adanya penambahan ijuk mampu meningkatkan kepadatan kering tanah dan meningkat pula kadar air optimum yang diperlukan untuk mencapai kepadatan kering maksimum. Pada pemadatan tanah asli nilai kepadatan kering maksimum ($\gamma_d \text{ max}$) 1.532 gr/cm³ dan kadar air optimum (W_{opt}) 20.20%, pada pemadatan 0.2% ijuk didapat kepadatan kering ($\gamma_d \text{ max}$) 1.570% dan kadar air optimum (W_{opt}) 21,20%, pada pemadatan tanah asli ditambah 0.3% ijuk nilai kepadatan kering maksimum meningkat ($\gamma_d \text{ max}$) yaitu 1,580 gr/cm³ dan kadar air optimum (w_{opt}) 21,60 %. pemadatan tanah asli yang ditambah 0.4% ijuk nilai kepadatan kering maksimum ($\gamma_d \text{ max}$) yaitu 1,585 gr/cm³ dan kadar air optimum (w_{opt}) 21,90 %, dan pemadatan tanah asli yang ditambah 0.5% nilai kepadatan kering maksimum ($\gamma_d \text{ max}$) yaitu 1,590 gr/cm³ dan kadar air optimum (w_{opt}) 22.00 %. Dari berapa-berapa variasi campuran ijuk nilai kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum tertinggi pada campuran ijuk 0.5% dan semakin besar nilai kepadatan kering maksimum maka tanah tersebut akan semakin rapat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemadatan yang ditambah ijuk nilai kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum meningkat dibandingkan dengan tanah asli tanpa ada campuran ijuk. Hal ini disebabkan karena ijuk mampu mengikat antar partikel tanah sehingga pori-pori tanah tambah rapat.

Abstract

From the results of research with a mixture of fiber fibers, there are several variations, namely native soil, 0.2% fiber, 0.3% fiber, 0.4% fiber and 0.5% palm fiber, it can be seen that with the addition of palm fiber it can increase the dry density of the soil and also increase the optimum water content needed to achieve dry density. maximum. In the original soil compaction the maximum dry density value ($\gamma_d \text{ max}$) was 1.532 gr/cm³ and the optimum water content (W_{opt}) was 20.20%, at 0.2% compaction the fibers obtained dry density ($\gamma_d \text{ max}$) 1.570% and the optimum water content (W_{opt}) 21.20 %, in the original soil compaction plus 0.3% of fibers the value of the maximum dry density increased ($\gamma_d \text{ max}$) which was 1,580 gr/cm³ and the optimum water content (w_{opt}) was 21.60%. compaction of the original soil plus 0.4% of fibers the maximum dry density value ($\gamma_d \text{ max}$) was 1.585 gr/cm³ and the optimum water content (w_{opt}) 21.90%, and the original soil compaction added 0.5% the maximum dry density value ($\gamma_d \text{ max}$) was 1,590 gr/cm³ and optimum moisture content (w_{opt}) 22.00%. From how many variations of the fiber mixture the maximum dry density value and the highest optimum water content in the 0.5% fiber mixture and the greater the maximum dry density value, the denser the soil will be.

Thus, it can be concluded that the compaction with the addition of fibers has the maximum dry density and optimum water content increased compared to the original soil without any mixture of fibers. This is because the fibers are able to bind between soil particles so that the soil pores are denser..

1. LatarBelakang

Pengaruh penggunaan tanah sangat signifikan, karena fungsi tanah erat kaitannya dengan pekerjaan konstruksi seperti dudukan perletakan alas pondasi, tanah dasar (*sub grade*) jalan dan sebagainya. Secara sifat fisik dan mekanis tanah harus terlebih dahulu dilakukan pengujian dalam hal penggunaannya. Apabila salah satu variabel-variabel tanah diabaikan seperti kembang susut maka akan membahayakan penggunaan tanah dalam pekerjaan suatu konstruksi. Banyak terjadi permasalahan apabila tanah memiliki sifat-sifat yang buruk seperti plastisitas yang tinggi, kekuatan geser yang rendah dan nilai kembang susut yang tinggi serta nilai CBR yang rendah. Dalam hal ini terjadi permasalahan pada badan jalan di Desa Keude paya, Kecamatan Blang pidie Kabupaten Aceh Barat Daya yang terjadi keruntuhan pada pondasi dan badan jalan. Oleh karena itu, maka dapat dilihat seberapa kuat daya dukung tanah pada pondasi, badan jalan dan tanah pada daerah tersebut sehingga harus diperbaiki sifat fisis dan sifat mekanisnya.

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung bersifat lengket. Banyak para ahli geoteknik telah melakukan penelitian untuk mengatasi masalah tersebut, yaitu dengan melakukan usaha untuk merubah sifat-sifat fisis tanah untuk mencapai persyaratan teknis tertentu dari tanah yang buruk menjadi tanah yang baik. Untuk mendapatkan tanah yang baik dalam ilmu keteknisipilan dikenal dengan istilah stabilisasi tanah.

Stabilisasi terbagi atas usaha stabilisasi secara fisis, mekanis, maupun kimiawi. Stabilisasi mekanis ditujukan untuk memperbaiki karakteristik mekanis tanah. Banyak usaha yang dapat dilakukan dengan menambah suatu bahan tambah (*additive*) adalah kapur, semen portland, aspal, dan pasir. Pada penelitian ini akan dicoba dengan menggunakan serat ijuk sebagai bahan alternatif lain bahan stabilisator untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah untuk perletakan kontruksi di atasnya. Penggunaan ijuk didasarkan pada beberapa keunggulan antara lain mempunyai kemampuan menyerap dan mengalirkan air, tidak mudah rapuh, tahan terhadap lingkungan yang asam maupun lingkungan berkadar garam tinggi.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini dimulai dari studi literatur yang dilanjutkan dengan persiapan pengumpulan bahan seperti tanah dan ijuk yang diambil langsung dari pohonnya. Pada pengumpulan bahan terbagi dua bagian yaitu pengujian sifat fisis dan pengujian sifat mekanis.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Setiap perencanaan teknis membutuhkan berbagai data. Dalam metode pengumpulan data ini penulis menggunakan data primer dan data sekunder. Kedua data ini sangat diperlukan dalam penelitian ini untuk memperoleh hasil seperti yang diharapkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada uraian berikut ini :

2.2 Data primer

Untuk mendapatkan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, dilakukan beberapa tahap pemeriksaan dan pengujian yang berkaitan antara satu dengan lainnya. Data yang diperlukan meliputi data primer adalah data utama dalam penelitian yang diperoleh dari hasil pengamatan atau pemeriksaan terhadap benda uji seperti yang diperlihatkan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Data primer

No	Data	Parameter	Sumber
1	Kadar Air (<i>Moisture Content</i>)	<i>W</i>	Pengujian Laboratorium
2	Berat volume	γ	Pengujian Laboratorium
3	Berat jenis (<i>Specific Gravity</i>)	<i>Gs</i>	Pengujian Laboratorium
4	Batas cair (<i>Liquid limit</i>)	<i>LL</i>	Pengujian Laboratorium
5	Batas plastis (<i>Plastis limit</i>)	<i>PL</i>	Pengujian Laboratorium
6	Plastisitas Indeks (<i>Indeks plastis</i>)	<i>PI</i>	Pengujian Laboratorium
7	Analisa Saringan	<i>Gradasi Butiran</i>	Pengujian Laboratorium
8	Analisa Hydrometer	<i>K</i>	Pengujian Laboratorium

2.3 Data sekunder

Data Skunder adalah data pendukung data primer yang diperlukan dalam penelitian seperti angka koreksi benda uji, studi literatur dengan persiapan dan pengadaan material yaitu tanah asli dan bahan penambahan yaitu serat ijuk sebagai bahan tambah seperti diperlihatkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Data skunder

No	Data	Parameter	Sumber
1	Tabel sistem klasifikasi tanah USCS	%	Hardiyatmo, H.C
2	Tabel sistem klasifikasi tanah AASTHO	%	Das, B.M
3	Rentang dari batas cair dan indeks plastis	<i>A-7-5, PL >30, dan A-7-6, PL >30</i>	Das, B.M
4	Tabel Diameter specific mineral penting	<i>GS</i>	Hardiyatmo, H.C
5	Berat volume basah	γ_b (<i>gr/cm³</i>)	Das, B.M
6	Berat volume kering	γ_d (<i>gr/cm³</i>)	Das, B.M
7	CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	<i>PT, PS</i>	Soedarmo, G.D
8	Tabel klasifikasi harga CBR	<i>ASTM D1883</i>	Mekanika tanah Uji CBR

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemeriksaan Kadar Air (*water content test*)

Kadar air atau kandungan air dalam tanah adalah sifat fisik tanah yang penting, dalam keadaan kandungan alami dan dibawahnya disebut kondisi batas konsistensi. Kadar air ialah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah tersebut terhadap berat kering tanah. Besaran yang digunakan untuk menentukan kadar air tanah dinyatakan dalam persen (%).

Langkah kerjanya yang digunakan, benda uji yang mewakili tanah yang akan diperiksa ditempatkan di dalam cawan yang bersih, kering dan diketahui beratnya. Benda uji yang telah ditempatkan kedalam cawan dan isinya ditimbang dan dicatat beratnya. Selanjutnya tutup cawan dibuka dan cawan ditempatkan di dalam oven atau pengering lainnya selama 4 jam (dalam oven) atau sampai mencapai berat konstan. Kemudian cawan ditutup dan didinginkan setelah dingin, cawan dan benda uji ditimbang kembali dan dicatat beratnya.

Kadar air dilakukan pengujian dengan tiga sampel, untuk sampel I diperoleh nilai kadar air sebesar 27.961% dan untuk kadar air rata-rata sebesar 27.147%. Untuk hasil pengujian kadar air selengkapnya dapat diperlihatkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Data hasil pengujian Kadar Air

Keterangan	Satuan	Sampel		
		I	II	III
Berat Cawan + Tanah Basah (W1)	(gram)	69,945	68,130	67,298
Berat Cawan + Tanah Kering (W2)	(gram)	56,759	55,442	55,153
Berat Air (W1-W2)	(gram)	13,186	12,688	12,145
Berat Cawan (W3)	(gram)	9,600	8,485	9,252
Berat Tanah Kering (W2-W3)	(gram)	47,159	46,957	45,901
Kadar Air $(w1-w2):(w2-w3)*100$	%	27,961	27,020	26,459
Kadar Air Rata-rata	%	27,147		

3.2 Pemeriksaan Berat Volume (*bulk density test*)

Berat volume merupakan perbandingan antara berat terhadap volume. Besar harga berat volume mencerminkan kerapatan butiran-butiran tanah, makin besar harga tersebut berarti tanah semakin padat. Berat volume sangat erat hubungannya dengan porositas dan kadar air. Berat Volume (*unit weight*) adalah berat tanah per satuan volume.

Tujuan dari pemeriksaan berat volume ini adalah untuk menentukan berat volume tanah asli dari tanah yang diperiksa. Alat yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah: Ring yang terbuat dari kuningan yang telah diketahui beratnya (W_1) dan volumenya (V_1), pisau pemotong dan perata, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram. Langkah kerjanya adalah: Keluarkan tanah dalam karung kemudian tanah tersebut dimasukkan kedalam ring hingga padat, setelah itu dipotong dan diratakan, sampel tanah tersebut bersama dengan ringnya ditimbang beratnya dan dicatat (W_2), pengujian ini dilakukan sebanyak 2 (dua) kali untuk sampel yang lainnya.

Berat volume tanah rata-rata diperoleh sebesar 1,819 gram/cm³, untuk Data pengujian berat volume tanah selengkapnya dapat diperlihatkan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Data hasil pengujian Berat Volume

Keterangan	Satuan	Sampel
------------	--------	--------

		I	II
Berat Tanah + Ring	Gram	241,740	230,614
Berat Ring	Gram	76,992	75,335
Berat Tanah	Gram	164,748	155,279
Diameter Dalam Ring	Cm	7,500	7,465
Tinggi Ring	Cm	2,000	2,000
Volume Ring = Volume Tanah	cm ³	88,357	87,535
Berat Volume Tanah Basah	Gram/cm ³	1,865	1,774
Berat Volume Rata-rata Tanah Basah	Gram/cm³	1,819	
Berat Volume Tanah Kering	Gram/cm³	1,431	

3.3 Berat Jenis

Dari Data pengujian berat jenis didapat berat jenis tanah rata-rata 2,598 % dan termasuk ke dalam lempung organik. Lempung organik dengan nilai 2,58 sampai 2,65 dan untuk data Penelitian selengkapnya diperlihatkan pada tabel 5.

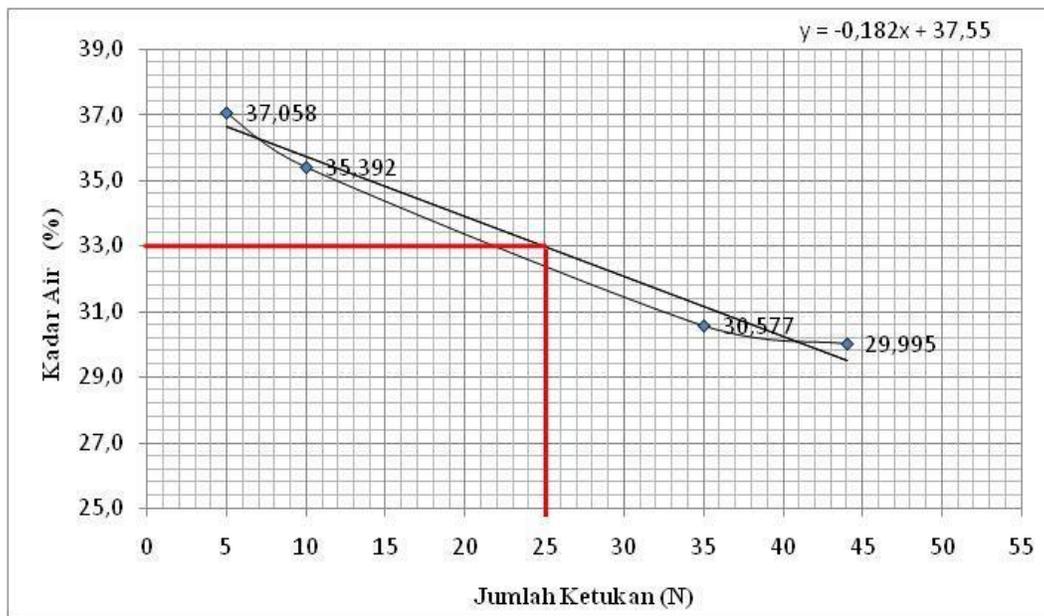
Tabel 5 Data pengujian Berat jenis

Keterangan	Satuan	Sampel	
		I	II
Berat Picnometer (W_1)	Gram	46,326	53,428
Berat Picnometer + Tanah (W_2)	Gram	71,326	78,349
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	Gram	25,000	24,921
Temperatur	°C	28°C	28°C
Berat Picnometer + Air + Tanah (W_3)	Gram	158,964	167,821
Berat Picnometer + Air (W_4)	Gram	143,485	152,595
Berat Total ($W_2 - W_1 + W_4$)	Gram	168,485	177,516
Isi Tanah ($w_4 - w_1$) - ($w_3 - w_2$)	Gram	9,521	9,695

Berat Jenis Tanah $(w_2-w_1)/(w_4-w_1)+(w_3-w_2)$	Gram/cm ³	2,626	2,571
Berat Jenis Tanah Rata-rata	Gram/cm³	2,598	

3.4 Batas Cair

Atterberg limit diperoleh nilai batas cair dan batas plastis tanah pada 25 ketukan, maka nilai untuk batas cair didapat sebesar 33,000%, selanjutnya untuk nilai batas plastis yaitu sebesar 19,010% dan untuk nilai indek plastis 13,990%. Dari hasil penelitian pada *atterberg limit* dalam pembuktian persamaan yang muncul pada graifk batas dapat diselesaikan dengan menggunakan metode numerik dengan persamaan regresi linier dan persamaan logaritma seperti yang diperlihatkan pada lampiran perhitungan, dari data pengujian *atterberg limit* maka dapat diketahui bahwa tanah tersebut termasuk kedalam tanah lanau lempung dengan parameter lanau lempung batas cair dibawah 50%. Untuk lebih jelas dapat diperlihatkan pada gambar grafik berikut ini.



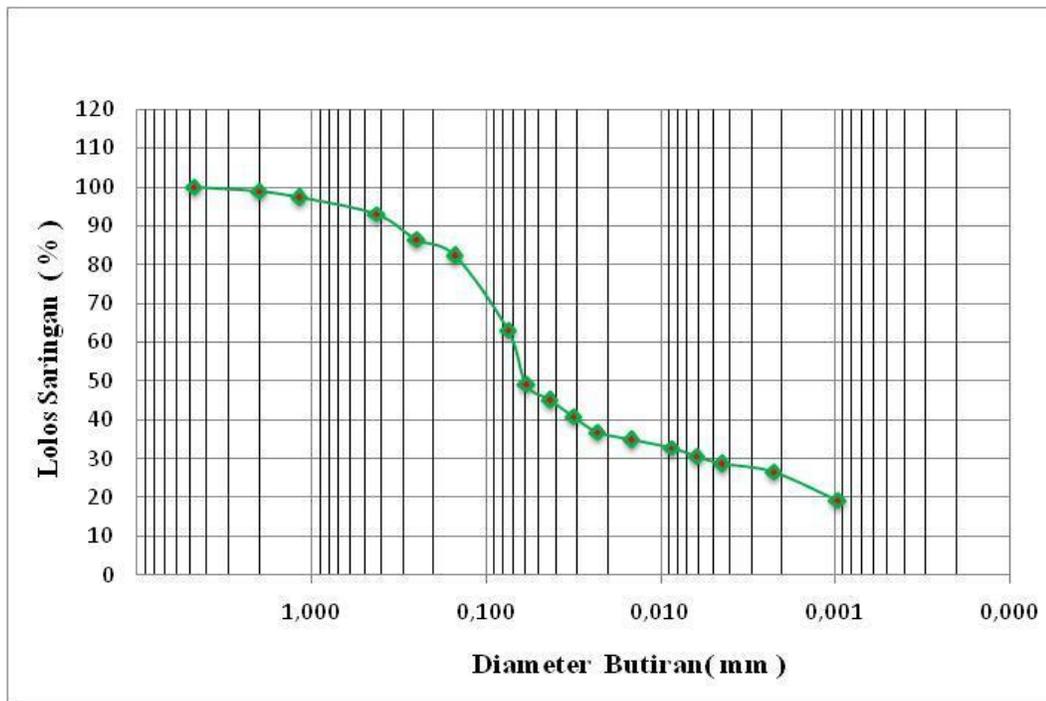
Gambar 1 Grafik Batas Cair (*Liquid Limit*)

Dari grafik batas cair diatas diperjelaskan persamaan $y = - 0.182x + 37.058$ dengan menggunakan analisis regresi linier pada Metode Numerik halaman 92. Untuk perhitungan gradien garis pada grafik diatas dapat diperlihatkan pada lampiran perhitungan, tujuan dari perhitungan gradien garis untuk mengetahui tiap ketukan agar nilai batas cair dapat diketahui.

Dengan demikian tanah yang telah di uji batas Atterberg dan hitung dengan analisi regresi linier maka tanah dapat diklasifikasikan sebagai lanau lempung dengan simbol ML & OL atau CL seperti diperlihatkan pada tabel klasifikasi tanah USCS pada tabel 2.2 halaman 8.

3.5 Analisa Saringan

Analisa saringan dan analisa hydrometer pada pengujian ini dapat diketahui dengan di uji melalui persentase lolos tiap saringan dan diameter butiran tanah sehingga tanah yang diuji seragam atau tidak. Untuk hasil uji analisa saringan dan analisa hydrometer yang bersesuaian dengan 10% lolos D10, D30 dan D60 dapat disajikan dalam bentuk grafik beriku ini:



Gambar 2 Grafik Hubungan Analisa saringan dan hydrometer

Dari gambar grafik diatas pengujian analisa saringan yang lolos saringan nomor 200 sebesar 63,20% dan untuk analisa hydrometer diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan (D10) tidak ada, diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan (D30) sebesar 0,028%, dan diameter yang bersesuaian 60% lolos ayakan (D60) sebesar 0,070%. Menurut Bowles (1993), analisa saringan dilakukan dan penggambaran kurva distribusi ukuran butiran dapat dibuat apabila kurang dari 12 % lolos saringan 200, perlu dilakukan C_c dan C_u untuk menentukan apakah tanah itu bergradasi baik atau bergradasi buruk. Apabila lebih dari 12% tanah dapat lolos

saringan nomor 200 , koefisien keseragaman C_u dan koefisien kecekungan C_c tidak mempunyai arti dan hanya batas atterberg sajalah yang perlu digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah. Dengan demikian tanah pada penelitian ini lolos saringan 200 lebih dari 12 persen yaitu 63.20% dan tidak perlu digunakan untuk klasifikasi tanah.

Dari hasil penelitian sifat fisis tanah dan sifat mekanis tanah dimulai dari kadar air, berat volume, bserat jenis, atterberg limit, analisa saringan, analisa hydrometer, pemadatan dan *California Bearing Ratio* (CBR) dapat disajikan dalam Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Rekapitulasi hasil penelitian

No	Jenis Penelitian	Satuan	Hasil Penelitian	Parameter Uji
A.	Penelitian Sifat Fisis Tanah			
1	Kadar Air rata-rata	%	27.147	-
2	Berat Volume rata-rata	gr/cm ³	1.819	-
3	Berat Jenis rata-rata	gr/cm ³	2.598	2.58 - 2.65
4	Batas Cair	%	33.000	Menurut USCS (ML & OL atau CL)
5	Batas plastis	%	19.010	
6	Indek Plastisitas	%	13.990	
7	Analisa saringan & Hydrometer			
	Nomor 4	%	100.00	Menurut USCS Tanah Berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan Nomor 200
	Nomor 10	%	99.80	
	Nomor 16	%	99.00	
	Nomor 30	%	97.20	
	Nomor 50	%	86.60	
	Nomor 100	%	82.30	
	Nomor 200	%	63.20	

B	Penelitian Sifat Mekanis Tanah				
	- Proctor Test		γ_d (gr/cm ³)	Wopt (%)	
1	Pemadatan Tanah Asli		1.532	20.20	
2	Pemadatan Tanah Asli ditambah Ijuk 0.2		1.570	21.20	
3	Pemadatan Tanah Asli ditambah Ijuk 0.3		1.580	21.60	
4	Pemadatan Tanah Asli ditambah Ijuk 0.4		1.585	21.90	
5	Pemadatan Tanah Asli ditambah Ijuk 0.5		1.590	22.20	
	- CBR (California Bearing Ratio)		Penetrasi 0.1"	Penetrasi 0.2"	
I	CBR 12 x tumbukan				
1	Tanah Asli	%	8.333	9.333	
2	Tanah Asli ditambah 0.2% Ijuk	%	9.000	10.000	
3	Tanah Asli ditambah 0.3% Ijuk	%	10.000	10.444	
4	Tanah Asli ditambah 0.4% Ijuk	%	11.000	10.889	
5	Tanah Asli ditambah 0.5% Ijuk	%	12.000	12.222	
II	CBR 25 x tumbukan				
1	Tanah Asli	%	8.500	9.956	
2	Tanah Asli ditambah 0.2% Ijuk	%	9.167	10.111	
3	Tanah Asli ditambah 0.3% Ijuk	%	10.333	10.667	
4	Tanah Asli ditambah 0.4% Ijuk	%	12.167	11.333	
5	Tanah Asli	%	12.833	12.333	
					Harga CBR Menurut ASTM D1883 dengan nilai CBR tertinggi 13.333 termasuk dalam klasifikasi sedang dengan batas 7-20

	ditambah 0.5% Ijuk				
III	CBR 56 x tumbukan				
1	Tanah Asli	%	9.000	10.000	
2	Tanah Asli ditambah 0.2% Ijuk	%	9.000	10.222	
3	Tanah Asli ditambah 0.3% Ijuk	%	10.667	10.778	
4	Tanah Asli ditambah 0.4% Ijuk	%	12.333	12.000	
5	Tanah Asli ditambah 0.5% Ijuk	%	13.333	12.889	

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan terhadap substansi utama dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Kadar air rata-rata 27,142%, berat volume tanah 1,819 gram, berat jenis (G_s) 2.598 gram/cm³ batas cair (LL) sebesar 33,00%, batas plastis (PL) 19,010%, Indeks plastis (IP) 13,990% dan fraksi tanah lolos saringan nomor 200 lebih dari 50% termasuk ke dalam tanah berbutir halus.
2. Menurut sistem klasifikasi *USCS* tanah lempung digolongkan ke dalam jenis lanau lempung (ML atau OL dan CL). Sedangkan menurut sistem klasifikasi *AASTHO* termasuk ke dalam kelompok A-6-7 yaitu tanah berlempung dengan penilaian umum untuk tanah dasar bisa sampai jelek.
3. Penambahan ijuk dengan batasan 0.5% mampu meningkatkan nilai kepadatan kering yaitu sebesar 1.590 gr/cm³ dan kadar air optimum sebesar 22.20% pada pengujian pemadatan dibandingkan dengan tanah asli.
4. Penambahan ijuk pada pengujian CBR dengan parameter 0% sampai 0.5% ijuk maka akan memberikan nilai CBR yang makin besar.
5. Ijuk dapat dijadikan alternatif lain sebagai bahan geotekstil karena mampu menahan dan mengikat antar butiran tanah sehingga tidak terbawa oleh air dan ijuk dapat digunakan sebagai bahan stabilisator tanah lempung karena dapat meningkatkan daya dukung tanah.

Daftar Kepustakaan

1. Bowles. E. J, 1993. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Terjemahan Ir. Johan Kelana Putra Hanum . Erlangga, Jakarta.
2. Das, M. B, 1995. *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, terjemahan Mochtar N.E, dkk, Penerbit, Erlangga. Jakarta .
3. Hardiyatmo,H.C, 2002. *Mekanika Tanah I*, Penerbit, Gadjah Mada University press.
4. Hardiato, 2002. *Mekanika Tanah*, Penerbit, Gadjah MadaUniversity press.
5. Sudarmadji Ibnu, H., et al, 2002, *Analisis Penambahan serat ijuk sebagai bahan stabilisator tanah lempung untuk pondasi dangkal bangunan gedung*, <http://www.jurnal.com>, diunduh tanggal, september 2002.
6. Sukirman, S, 1991, *Perkerasan Lentur Jalan Raya, edisi kedua*, penerbit Nova Bandung.
7. Saputri, E.V, 2010, *Pengaruh penambahan ijuk terhadap daya dukung tanah dasar pada tanah lempung (study kasus Kota padang)*, www.Google.com
8. Wesley, L. D, 1977. *Mekanika Tanah*, Cetakan ke enam, Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta Selatan.