

Pengaruh Pencampuran Serat Serabut Kelapa Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai CBR dan Kuat Geser

B. Damara^{a*}

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sains dan Teknologi Universitas Islam Lamongan, Lamongan, Indonesia 62214

* Corresponding author's e-mail: bobbydanara@unisla.ac.id

Received: 2 December 2024; revised: 6 January 2025; accepted: 2 February 2025

Abstract: This research aims to investigate the influence of coconut fiber incorporation on clay soil in terms of its California Bearing Ratio (CBR) and shear strength. The study involved collecting clay samples from a specific location and blending them with varying percentages of coconut fibers. Laboratory experiments were carried out to assess the CBR and shear strength of both untreated clay and clay mixed with different fiber fractions. The laboratory results revealed an improvement in CBR from the original clay value of 5.59% to 6.1% with 0.2% fiber addition, 6.64% with 0.4%, and 7.34% with 0.6%. These results indicate a consistent increase without any decline. Additionally, the shear strength test showed a 0.2% improvement, with the optimal shear strength achieved at a 0.2% fiber composition, reaching 1.0588%. The inclusion of coconut fibers significantly enhanced the CBR of the clay. The study also identified the optimal fiber fraction required to maximize CBR improvement. Moreover, the addition of coconut fibers boosted the shear strength, making this method useful for civil engineering projects such as road stabilization, foundation reinforcement, and other construction activities in areas with clay soil. This study highlights the potential of coconut fibers as a cost-effective and sustainable reinforcement material for clay soil in civil construction, offering both economic and environmental benefits to the construction industry.

Keywords: soil, coconut fiber, shear strength, CBR (California Bearing Ratio)

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh penambahan serat sabut kelapa pada tanah lempung terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dan kekuatan geser tanah. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel tanah lempung dari lokasi tertentu dan mencampurkannya dengan persentase serat sabut kelapa yang berbeda. Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengukur nilai CBR dan kekuatan geser pada tanah lempung murni serta campuran tanah dengan berbagai fraksi serat. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan peningkatan nilai CBR dari 5,59% pada tanah asli menjadi 6,1% dengan penambahan serat 0,2%, 6,64% dengan 0,4%, dan 7,34% dengan 0,6%. Hasil ini menunjukkan peningkatan yang konsisten tanpa penurunan. Selain itu, uji kekuatan geser menunjukkan adanya peningkatan sebesar 0,2%, dengan kekuatan geser optimum tercapai pada campuran serat sabut kelapa 0,2%, yaitu sebesar 1,0588%. Penambahan serat sabut kelapa terbukti secara signifikan meningkatkan nilai CBR tanah lempung. Penelitian ini juga mengidentifikasi fraksi serat yang optimal untuk mencapai peningkatan CBR tertinggi. Selain itu, pencampuran serat sabut kelapa juga memperbaiki kekuatan geser tanah, sehingga metode ini dapat diaplikasikan pada proyek-proyek teknik sipil seperti stabilisasi jalan, perkuatan pondasi, dan kegiatan konstruksi lainnya di daerah dengan tanah lempung. Studi ini menunjukkan potensi penggunaan serat sabut kelapa sebagai bahan perkuatan tanah yang ekonomis dan ramah lingkungan, yang dapat memberikan manfaat dari segi biaya maupun keberlanjutan dalam industri konstruksi.

Kata kunci: tanah, sabut kelapa, kekuatan geser, CBR (California Bearing Ratio)

1. Pendahuluan

Tanah lempung adalah salah satu jenis tanah yang umum digunakan dalam konstruksi jalan dan perkerasan. Meskipun memiliki kekuatan tertentu, tanah lempung sering kali menunjukkan sifat fisik dan mekanik yang tidak memadai untuk mendukung beban berat [1]. Hal ini dapat menyebabkan rendahnya nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dan ketidakmampuan tanah lempung untuk menahan beban, terutama pada kondisi lalu lintas yang intens [2]. Oleh karena itu, inovasi dalam teknik pemadatan dan penguatan tanah lempung sangat diperlukan. Salah satu pendekatan yang telah banyak diteliti adalah penggunaan serat alami sebagai material penguat tanah [3]. Serat alami, seperti serat serabut kelapa, menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan sifat mekanik tanah, termasuk peningkatan nilai CBR dan kuat geser. Serat-serat ini memiliki sifat mekanik yang kuat, tahan lama, dan mudah diintegrasikan ke dalam tanah lempung [4].

Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengeksplorasi penggunaan serat alami dalam memperbaiki sifat mekanik tanah. Misalnya, penelitian oleh Purnomo, M [5] menunjukkan bahwa pencampuran serat kelapa dengan tanah lempung dapat meningkatkan nilai CBR secara signifikan, terutama pada kadar serat tertentu. Selain itu, studi yang dilakukan oleh Silalahi, *et al.* [6] menyimpulkan bahwa penggunaan serat kelapa tidak hanya meningkatkan kekuatan tanah tetapi juga memperbaiki sifat elastisitasnya, sehingga mengurangi risiko retak akibat deformasi. Penelitian lainnya oleh Desiani [7] mengamati bahwa serat kelapa efektif dalam mengurangi ekspansi tanah lempung pada kondisi basah, yang merupakan masalah umum dalam konstruksi jalan.

Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada sifat-sifat dasar, seperti CBR dan kuat tekan. Penelitian yang mendalam mengenai pengaruh kombinasi tingkat pencampuran serat kelapa terhadap nilai CBR dan

kuat geser secara simultan masih terbatas. Selain itu, belum banyak studi yang mempertimbangkan dampak jangka panjang dari penggunaan serat kelapa terhadap stabilitas tanah dalam kondisi lingkungan yang beragam.

Berdasarkan kajian literatur, penelitian ini menghadirkan pendekatan baru dalam mengevaluasi pengaruh pencampuran serat kelapa pada tanah lempung dengan pendekatan eksperimen yang lebih terfokus pada hubungan antara nilai CBR dan kuat geser. Penelitian ini juga berupaya memberikan pemahaman lebih komprehensif tentang mekanisme interaksi antara serat kelapa dan tanah lempung, serta dampaknya terhadap kinerja mekanik tanah dalam aplikasi konstruksi. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi teoritis, tetapi juga manfaat praktis bagi para insinyur sipil dalam menciptakan solusi penguatan tanah yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh pencampuran serat serabut kelapa pada tanah lempung terhadap nilai CBR dan kuat geser [8]. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan bukti empiris yang mendukung gagasan bahwa penggunaan serat-serat kelapa dapat meningkatkan sifat mekanik tanah lempung [9]. Penelitian ini juga berpotensi untuk memberikan panduan

praktis bagi insinyur sipil dan kontraktor dalam penggunaan serat-serat kelapa sebagai metode penguatan tanah yang berkelanjutan. Selain itu, pemahaman mendalam tentang pengaruh serat-serat kelapa pada tanah lempung juga dapat memiliki dampak positif dalam konteks lingkungan. Penggunaan bahan alami seperti serat kelapa dapat membantu mengurangi penggunaan bahan sintesis yang berdampak negatif terhadap lingkungan.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan serangkaian eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh berbagai tingkat pencampuran serat serabut kelapa pada tanah lempung terhadap nilai CBR dan kuat geser. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang potensi penggunaan serat serabut kelapa dalam praktik konstruksi dan infrastruktur

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium terpadu Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan dan sampel tanah yang di ambil adalah sampel tanah dari Kelurahan Sukomulyo, Kecamatan Lamongan (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2. Data

Klasifikasi tanah adalah proses pengelompokan berdasarkan ciri-ciri fisik, kimia, dan biologisnya [10]. Klasifikasi tanah penting dalam pertanian, ilmu tanah, rekayasa sipil, lingkungan, dan berbagai aplikasi lainnya [11]. Salah satu sistem klasifikasi tanah yang paling umum digunakan adalah sistem klasifikasi tanah Amerika Serikat, yang dikembangkan oleh *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) dan disebut sebagai "Sistem Klasifikasi Tanah Soil Taxonomy." Untuk menilai dan mengklasifikasikan tanah [12], Sistem klasifikasi tanah

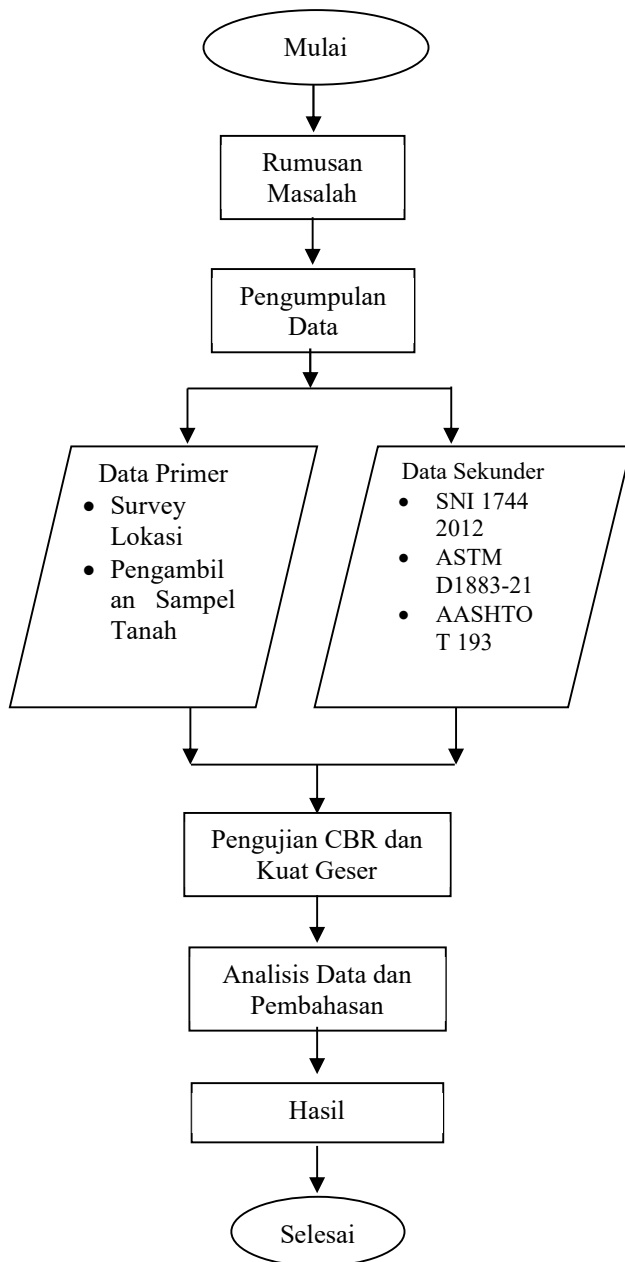
yang umum digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian adalah tanah liat dari lokasi kelurahan sukumulyo, kecamatan lamongan dan mencampurkan tanah liat dengan serabut kelapa dengan komposisi penambahan 0,2%, 0,4% dan 0,6% yang nantinya akan di olah data kuat geser dan CBR.

2.2. Metode dan Tahapan Penelitian

Metode penelitian eksperimental CBR (*California Bearing Ratio*) dan kuat geser digunakan untuk mengukur dan menganalisis sifat-sifat tanah dalam konteks rekayasa

sipil, konstruksi jalan, atau proyek-proyek infrastruktur lainnya, Adapun alur metode penelitian di buat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart pelaksanaan penelitian

2.2.1. CBR

CBR (Tabel 1) adalah rasio beban yang diperlukan untuk menembus sampel tanah 0,1"/0,2" dengan beban yang dapat ditahan oleh batu pecah biasa pada penetrasi yang sama [13]. Satuan atau harga CBR dinyatakan sebagai persentase [14]. CBR adalah ukuran kualitas tanah dasar dibandingkan dengan material standar, batu pecah, yang memiliki peringkat CBR 100% dalam menangani beban lalu lintas [15].

Nilai CBR digunakan untuk mengevaluasi kapasitas tanah, terutama ketika digunakan sebagai subbase atau tanah dasar untuk jalan beraspal [16]. Penentuan nilai CBR

kering pada uji pemadatan tanah dan penentuan kadar air dan berat isi adalah ekuivalen; penentuan penetrasi CBR di laboratorium berbeda-beda [17].

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai CBR [18]

CBR(%)	Tingkatan umum	Kegunaan
0 – 3	Sangat rendah	Subgrade
3 – 7	Rendah sampai sedang	Subgrade
7 – 20	Sedang	Subgrade
20 – 50	Baik	Base or subbase
>50	Sangat baik	Base

2.2.2 Kuat Geser

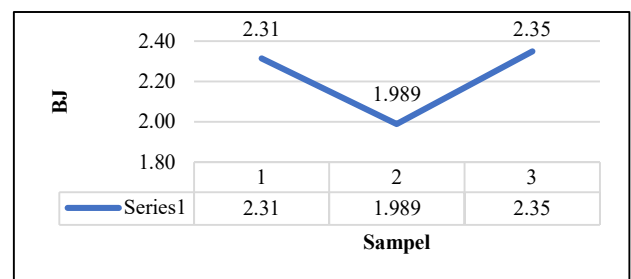
Kapasitas tanah untuk menahan tegangan geser yang dihasilkan dari beban dikenal sebagai kekuatan geser [19]. Mobilitas relatif dari partikel tanah menyebabkan keruntuhan geser tanah daripada disintegrasi butiran tanah [20]. Saat lereng longsor, butiran tanah telah bergerak, yang menjadi penyebab longsor.geser tanah ialah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani [21]. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relative antara butir-butir tanah tersebut. Pada peristiwa kelongsoran suatu lereng berarti telah terjadi pergeseran dalam butir-butir tanah tersebut [22].

Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (*c soil*)[22]. Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (ϕ)[22]. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (*c dan ϕ soil*). Kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena ϕ)[23].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Berat Jenis

Berat jenis tanah sering juga disebut *specific gravity* (Gs), dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air [24]. Nilai daripada berat butir isi tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volumenya, hasil dari penelitian ini di peroleh nilai *specific gravity* (Gs) seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Berat jenis tanah

Berat jenis tanah merupakan besaran yang membandingkan berat butiran tanah terhadap volume yang

di tempatnya, Nilai berat jenis atau specific gravity dari sample tanah yang diuji adlah $G_s = 2,212 \text{ gr/cm}^3$, dengan kemungkinan tanah tersebut masuk dalam kategori lanau atau lempung, karena tanah lanau atau lempung yang mempunyai berat jenis berkisar antara 2,21% - 2,74% dan pada penelitian yang dilakukan oleh Mirzan pada tahun 2023 penambahan serat kelapa sawit. Tanah lempung asli memiliki berat jenis $2,62 \text{ g/cm}^3$ [25].

3.2. Liquid Limit dan Plastic Limit

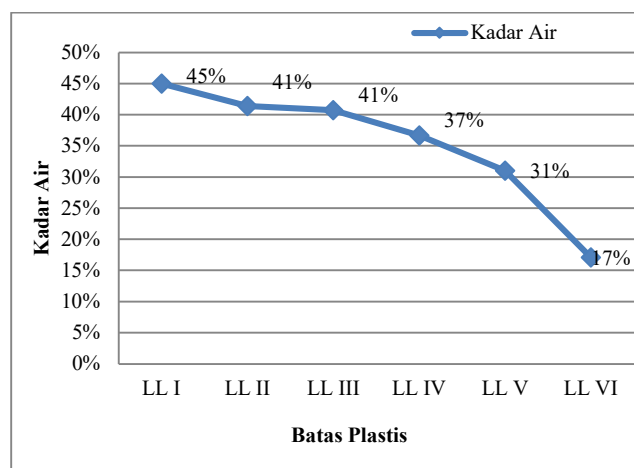
Keadaan yang paling penting adalah batas cair dan batas plastis yang disebut sebagai batas-batas Atterberg [10]. Batas cair didefinisikan sebagai nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan plastis, atau dapat dikatakan batas cair adalah batas suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis [26], hasil dari LL & PL penelitian ini adalah seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Data dan perhitungan *liquid limit* (LL)

Jenis tes	LL I	LL II	LL III	LL IV	LL V	LL VI
Jumlah ketukan	3	16	20	25	31	40
Berat sampel + c(basah)	67gr	50gr	47gr	50gr	47gr	57gr
Berat sampel + c(kering)	49gr	38gr	36gr	39gr	38gr	50gr
Berat air	18gr	12gr	11gr	11gr	9gr	7gr
Cawan	9gr	9gr	9gr	9gr	9gr	9gr
Berat tanah kering	40gr	29gr	27gr	30gr	29gr	41gr
Kadar air (w)	45,00%	41,38%	40,74%	36,67%	31,03%	17,07%
Kadar air (rata-rata)	35,31%					

Tabel 3. Data dan Perhitungan *Plastic Limit* (PL)

Jenis Tes	Satuan	PL I	PLII	PL III
Berat sampel + tare(basah)	gr	9,4gr	8,66gr	9,21gr
Berat sampel + tare(kering)	gr	9,33gr	8,54gr	9,18gr
Berat air	gr	0,07gr	00.12gr	0,03gr
Cawan	gr	9gr	8,03gr	9gr
Berat tanah kering	gr	0,24gr	0,45gr	0,9gr
Kadar air	%	21,21%	23,53%	16,67g%
berat rata-rata tanah kering	%	20,47%		



Gambar 4. Kadar air dan liquid limit (LL)

Pada penelitian yang dilakukan Anton pada tahun 2021, mengindikasikan bahwa penambahan serat sabut kelapa pada tanah lempung menyebabkan penurunan nilai batas cair (LL). Tanah asli memiliki LL sebesar 55%, dan dengan penambahan serat sabut kelapa 3%, LL menurun menjadi 40%. Penurunan ini disebabkan oleh interaksi antara serat dan butiran tanah yang meningkatkan kohesi dan mengurangi plastisitas tanah [27].

Berdasarkan Gambar 4 nilai batas cair atau *Liquid Limit* yang telah dilakukan peneliti (yaitu nilai kadar air pada jumlah ketukan sebanyak 25) adalah sebesar 36,67% nilai tersebut hamper sama dengan penelitian yang pernah dilakukan.

3.3. Uji California Bearing Ratio (CBR)

Uji *California Bearing Ratio* (CBR) adalah salah satu uji laboratorium yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah. Uji ini umumnya digunakan dalam rekayasa sipil untuk mengevaluasi kemampuan tanah untuk menopang beban dari gaya vertikal yang ada di atasnya [28].

Penelitian yang dilakukan oleh Purba pada tahun 2023 dengan menambahkan serat sabut kelapa dengan variasi 1%, 2%, dan 3%, serta jumlah tumbukan 10, 35, dan 65 kali [28], menunjukkan bahwa penambahan serat sabut kelapa meningkatkan nilai CBR tanah. Pada penambahan 3% serat dan 65 kali tumbukan, nilai CBR mencapai 14,2%, yang menunjukkan kekuatan tanah yang baik dan tidak memerlukan pemadatan tambahan kecuali untuk lalu lintas berat. Hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti berbanding lurus dengan penelitian terdahulu semakin banyak serat kelapa yang di tambahkan semakin tinggi pula nilai CBR yang di dapat, pada campuran 0,6% dengan 56x tumbukan diperoleh nilai CBR 8,45% (Tabel 4).

Tabel 5. Hasil Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Variasi Campuran	Penurunan (in)	10x		CBR Rata-Rata	25x		CBR Rata-Rata	56x		CBR Rata-Rata
		Beban (lb)	Tekanan (lbs/in ²)		Beban (lb)	Tekanan (lbs/in ²)		Beban (lb)	Tekanan (lbs/in ²)	
Tanah Asli	0.1	80.94	26.98	2.54	186.98	62.32	6.08	240.41	80.13	5.79
Tanah Asli	0.2	106.85	35.61		267.12	89.04		373.97	124.65	
Serat Kelapa 0.2	0.1	81.47	27.15	2.84	188.59	61.83	5.81	240.41	80.13	5.91
Serat Kelapa 0.2	0.2	133.56	44.52		240.41	80.01		347.26	115.75	
Serat Kelapa 0.4	0.1	82.54	27.51	2.88	213.07	71.02	6.52	347.26	115.75	7.03
Serat Kelapa 0.4	0.2	135.16	45.05		267.12	89.04		427.39	142.46	
Serat Kelapa 0.6	0.1	133.56	44.52	4.3	202.77	60.3	6.52	352.23	136.75	8.45
Serat Kelapa 0.6	0.2	186.98	62.32		282.91	87.02		432.37	163.47	

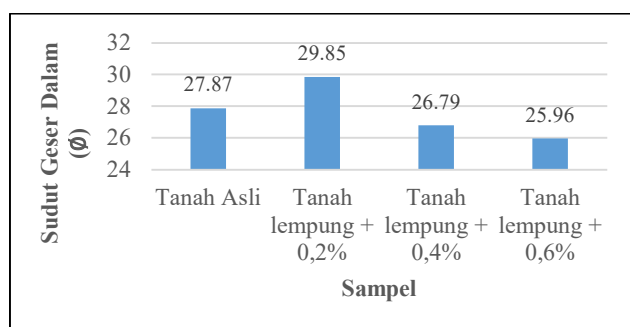
3.4. Pengujian Kuat Geser

Pengujian kuat geser tanah adalah proses untuk menentukan kemampuan suatu jenis tanah dalam menahan gaya geser atau gesekan [28]. Parameter ini penting dalam rekayasa geoteknik, konstruksi sipil, dan pemahaman karakteristik tanah dalam berbagai aplikasi. Tabel 5 adalah hasil pengujian kuat geser variasi tanah lempung + serat serabut kelapa 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat geser langsung

Sampel	Kohesi (c)	Sudut geser dalam (ϕ)	Kuat geser (π)
Tanah Asli	0,0529	27,87%	0,9290%
Tanah + 0,2%	0,0574	29,85%	1,0588%
Tanah + 0,4%	0,0505	26,79%	0,8964%
Tanah + 0,6%	0,0487	25,96%	0,8617%

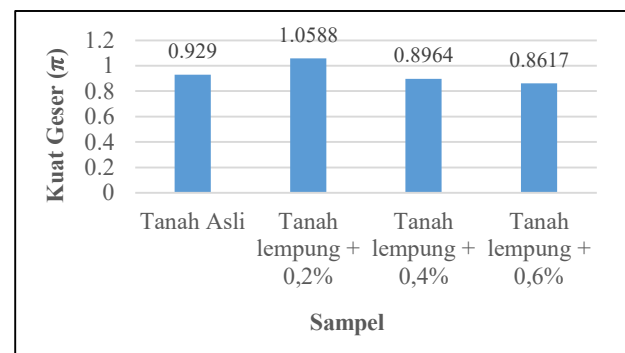
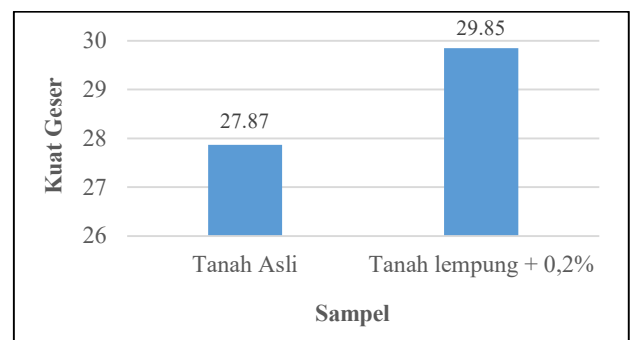
Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menyajikan sudut geser dalam, geser (π) dan kuat geser masing – masing sampel. Pada variasi campuran, dimana penambahan bahan tambah terjadi peningkatan pada variasi 0,2% serat serabut kelapa, 0,0574 pada tanah asli, namun pada variasi 0,4% dan 0,6% serat serabut kelapa, terjadi penurunan nilai kohesi optimum.

**Gambar 5.** Sudut geser dalam

Penelitian yang dilakukan oleh Purba (2023) menunjukkan bahwa penambahan abu sabut kelapa pada tanah lempung meningkatkan nilai CBR. Dengan penambahan abu sabut kelapa hingga 5%, nilai CBR meningkat dari 1,3% (tanah asli) menjadi 7%, memenuhi standar daya dukung tanah yang baik (>6%) [29].

Hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti saat ini menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh hasil pada variasi 0,2% serat serabut kelapa + 1,0588% pada tanah asli, namun pada variasi 0,4% dan 0,6% serat serabut kelapa, terjadi

penurunan nilai kuat geser optimum. Dan pada pengujian kuat geser serat serabut kelapa mengalami peningkatan. Dilihat pada grafik tanah asli + 0,2% serat serabut kelapa dengan nilai 29,85% dapat disimpulkan tingkat daya dukung tanah menjadi lebih baik dengan batas penambahan 0,2% serat serabut kelapa.

**Gambar 6.** Kuat geser (π)**Gambar 7.** Kuat geser

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data sampai tahap analisis data peneliti dapat menarik kesimpulan CBR tanpa perendaman (unsoked) dengan penambahan bahan aditif cenderung meningkat, peningkatan dari pengujian tanah asli = 5,79% sampai dengan penambahan serat serabut kelapa dari variasi 0,2% = 5,91%, 0,4% = 7,03%, 0,6% = 8,45% cukup meningkat tidak ada penurunan. Hasil pengujian penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa serat serabut kelapa dapat dimanfaatkan untuk stabilisasi tanah lempung dapat dilihat dari peningkatan nilai CBR dan Pengujian kuat geser tersaji grafik batang penambahan bahan tambah terjadi peningkatan pada 0,2%. Nilai kuat geser optimum terdapat

pada variasi campuran 0,2% = 1,0588% serat serabut kelapa.

Daftar Pustaka

- [1] A. Abdulrahman, S. Purwanto, and I. Ismail, "Analisa Perhitungan Daya Dukung Tanah (CBR) Atas Campuran Tanah dan S Base 07 Liquid Soil Stabilizer", *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, p. 115, 2020.
- [2] N. Simbolon, *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen dan Fly Ash dengan Pengujian Kuat Tekan Bebas dan CBR*, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [3] M.S. Baradaran, R. Qazanfari, and S. Baradaran, "Study of Soil Reinforcement in the East of Mashhad using Glass Granule", *Materials Research Express*, vol. 10, no. 5, p. 55, 2023.
- [4] F. Albajili, F. Fatnanta, and S.A. Nugroho, "Korelasi Antara Nilai CBR dan Nilai Kuat Geser Sebagai Tanah Timbun", *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2014.
- [5] M. Purnomo, "Korelasi Antara CBR, P_i dan Kuat Geser Tanah Lempung", *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, vol. 13, no. 1, p. 81, 2011.
- [6] Y.J.D. Silalahi and S. Wulandari, "Pengaruh Masa Pemeraman Pada Tanah yang Distabilisasi dengan Serat Batang Pisang Ditinjau dari Nilai Kuat Geser dan CBR", *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, vol. 21, no. 1, p. 41, 2022.
- [7] A. Desiani, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Soil Binder", *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 1, p. 21, 2019.
- [8] Amarullah, I. Nur, and M. Zardi, "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa", *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2019.
- [9] Fathurrozi and F. Rezqi, "Sifat-Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Timbunan Badan Jalan Kuala Kapuas", *Jurnal Poros Teknik*, vol. 8, no. 1, p. 16, 2016.
- [10] A.A. Muhyi, R. Roesyanto, and G.C. Rapitha Hasibuan, "Pengaruh Penambahan Bubuk Gypsum Terhadap Kuat Geser Tanah Berdasarkan Pengujian Triaksial Serta Pemodelan dengan Metode Elemen Hingga", *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 3, no. 9, p. 1101, 2022.
- [11] R.A. Blayi, A.F.H. Sherwani, H.H. Ibrahim, R.H. Faraj, and A. Daraei, "Strength Improvement Of Expansive Soil By Utilizing Waste Glass Powder", *Case Studies In Construction Materials*, vol. 13, p.1, 2020.
- [12] F.I. Shalabi, I.M. Asi, and H.Y. Qasrawi, "Effect of by Product Steel Slag on the Engineering Properties of Clay Soils", *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 29, no. 4, p. 349, 2017.
- [13] B. Mishra and M. Kumar Gupta, "Use of Randomly Oriented Polyethylene Terephthalate (PET) Fiber in Combination with Fly Ash in Subgrade of Flexible Pavement", *Construction and Building Materials*, vol. 190, p. 95, 2018.
- [14] M.G. Nezhad, A. Tabarsa, and N. Latifi, "Effect of Natural and Synthetic Fibers Reinforcement on California Bearing Ratio and Tensile Strength of Clay", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 13, no. 3, p. 626, 2021.
- [15] R. Gobinath, I.I. Akinwumi, O.D. Afolayan, S. Karthikeyan, M. Manojkumar, S. Gowtham, and A. Manikandan, "Banana Fibre-Reinforcement of A Soil Stabilized with Sodium Silicate", *Silicon*, vol. 12, no. 2, p. 357, 2020.
- [16] A. Widiyanti, A.A.B. Negara, T.S. Elmino, and L. Ramadhani, "Utilization of Coir Fibers to Improve the Bearing Capacity and Tensile Strength of Expansive Clay", *International Journal of Geomate*, vol. 23, no. 95, p. 20, 2022.
- [17] P.K. Pradhan, R.K. Kar, and A. Naik, "Effect of Random Inclusion of Polypropylene Fibers on Strength Characteristics of Cohesive Soil", *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 30, no. 1, p. 15, 2012.
- [18] I. Ilmuddin, "Stabilisasi Tanah Lempung dengan Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan dan Daya Dukung Tanah di Dusun Lanang Desa Lampasio Kec. Lampasio", *Jurnal Sains Dan Teknologi Tadulako*, vol. 8, no. 1, p. 9, 2022.
- [19] P. Jiang, Y. Chen, N. Li, L. Zhou, S. Pu, and W. Wang, "Strength Properties and Microscopic Mechanism of Lime and Fly Ash Modified Expandable Poly Styrene Lightweight Soil Reinforced by Polypropylene Fiber", *Case Studies In Construction Materials*, Vol. 17, p. 1, 2022.
- [20] S.C. Boobalan and M.S. Devi, "Investigational Study on the Influence of Lime and Coir Fiber in the Stabilization of Expansive Soil", *Materials Today: Proceedings*, vol. 60, p. 311, 2022.
- [21] I. Saputra and M. Ridha, "Efek Penambahan Garam Pada Tanah Gambut untuk Daya Dukung Tanah", *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, vol. 5, no. 1, p. 17, 2019.
- [22] A.A. Habibi, M. Fallah Tafti, S. Narani, and M. Abbaspour, "Effects of Waste Tire Textile Fibres on Geotechnical Properties of Compacted Lime-Stabilized Low Plastic Clays", *International Journal Of Geotechnical Engineering*, vol. 15, no. 9, p. 1118, 2021.
- [23] M. Abbaspour, E. Aflaki, and F.M. Nejad, "Reuse of Waste Tire Textile Fibers as Soil Reinforcement", *Journal of Cleaner Production*, vol. 207, p. 1059, 2019.

- [24] I. Mudhakhir, A. Nurhidayati, and E. Suprimurtiono, "Peningkatan Daya Dukung Tanah Ekspansif Menggunakan Limbah Gypsum dan Serbuk Kaca", *Indonesian Journal of Civil Engineering Education*, vol. 6, no. 1, p. 50, 2021.
- [25] M.N.L. Apa, A. Saputra, and R.P. Rini, "Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung dengan Menggunakan Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tekan Bebas", *Jimats*, vol. 2, no. 2, p. 102, 2023.
- [26] B.K. Lumikis, S. Monintja, S. Balamba, and A.N. Sarajar, "Korelasi Antara Tegangan Geser dan Nilai CBR Pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Bahan Campuran Semen", *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 6, p. 1, 2013.
- [27] A. Listyawan, B.A., Pambudi, "Pemanfaatan Serat Serabut Kelapa Sebagai Bahan Perbaikan Tanah Lempung", *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, p. 1689, 2013.
- [28] Y.M. Purwana and H. Nikraz, "The Correlation Between the CBR and Shear Strength in Unsaturated Soil Conditions", *International Journal Of Transportation Engineering*, vol. 1, no. 3, p. 211, 2013.
- [29] M.O. Purba, L. Dwi Putri, and M. Anggraini, "Pemanfaatan Abu Sabut Kelapa sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) ", vol. 3, no. 1, p. 89, 2023.

This page is intentionally left blank