

Pengaruh Penambahan *Biochar* Tempurung Kelapa Terhadap Nilai PI Dan CBR Pada Tanah Di Kecamatan Maliku

*Defrin Delina¹, Norseta Ajie Saputra²

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya,

*)norseta.ajie@gmail.com

Abstract

Clay soils with a high Plasticity Index (PI) and low California Bearing Ratio (CBR) values tend to be susceptible to moisture changes and have low bearing capacity, thus requiring stabilization efforts. One of the less commonly used stabilization methods is the use of additives such as coconut shell biochar. Coconut shell biochar has properties capable of altering the physical and mechanical characteristics of soil, so it is expected that its addition can reduce the Plasticity Index (PI) and increase the California Bearing Ratio (CBR) value of the soil. This study aims to determine the effect of adding coconut shell biochar at variations of 8%, 12%, and 16% on the Plasticity Index (PI) and California Bearing Ratio (CBR) values of the original soil from Maliku Baru Village, Maliku Subdistrict, Pulang Pisau Regency, Central Kalimantan. The test results showed changes in both parameters: the higher the percentage of coconut shell biochar used, the lower the Plasticity Index (PI) and the higher the California Bearing Ratio (CBR) value. This study found significant results at 16% biochar content, where the Plasticity Index (PI) decreased from 33.64% in the original soil to 11.68%, a reduction of 62.4%. Meanwhile, the California Bearing Ratio (CBR) value increased from 2.95% to 9.2%, an improvement of 78% compared to the original soil. Therefore, the use of coconut shell biochar as a soil stabilizing agent is highly effective in improving the quality of clay soil in the area.

Keywords: Biochar, Plasticity Index, California Bearing Ratio, Soil Stabilization

Abstrak

Tanah lempung dengan Indeks Plastisitas (PI) yang tinggi dan nilai California Bearing Ratio (CBR) yang rendah cenderung rentan terhadap perubahan kelembapan dan memiliki daya dukung yang rendah sehingga perlu usaha untuk stabilisasi, salah satu stabilisasi yang masih jarang digunakan adalah stabilisasi menggunakan bahan aditif seperti biochar tempurung kelapa. Biochar tempurung kelapa memiliki sifat yang mampu mengubah karakteristik fisik dan mekanik tanah, sehingga diharapkan dengan penambahan biochar dapat menurunkan nilai Indeks Plastisitas (PI) dan meningkatkan nilai California Bearing Ratio (CBR) tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan biochar tempurung kelapa dengan variasi 8%, 12% dan 16% terhadap nilai Indeks Plastisitas (PI) dan nilai California Bearing Ratio (CBR) tanah asli dari Desa Maliku Baru, Kecamatan Maliku, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. Hasil dari pengujian menunjukkan perubahan terhadap kedua parameter tersebut, semakin tinggi variasi biochar tempurung kelapa yang digunakan maka semakin rendah nilai Indeks Plastisitas (PI) dan semakin tinggi nilai California Bearing Ratio (CBR). Pada penelitian ini diperoleh hasil yang signifikan pada penambahan biochar tempurung kelapa dengan variasi 16% diperoleh nilai Indeks Plastisitas (PI) dari tanah asli sebesar 33,64% menjadi 11,68% penurunan yang terjadi 62,4% dari tanah asli sedangkan nilai California Bearing Ratio (CBR) diperoleh dari tanah asli sebesar 2,95% menjadi 9,2% peningkatan nilai California Bearing Ratio (CBR) adalah sebesar 78% dari California Bearing Ratio (CBR) tanah asli. Dengan demikian, penggunaan biochar tempurung kelapa sebagai bahan stabilisasi tanah sangat efektif dalam meningkatkan kualitas tanah lempung di daerah tersebut.

Kata Kunci: Biochar, California Bearing Ratio, Indeks Plastisitas, Stabilisasi Tanah

PENDAHULUAN

Salah satu parameter daya dukung tanah yang digunakan untuk menilai kualitas tanah adalah sifat fisik dan mekanik tanah seperti nilai *Plasticity Index* (PI) dan *California Bearing Ratio* (CBR), Nilai PI mencerminkan sifat plastisitas tanah yang mempengaruhi stabilitasnya terhadap perubahan kelembapan, sedangkan nilai CBR menggambarkan kemampuan tanah untuk menahan beban. Tanah dengan nilai PI tinggi dan CBR yang rendah biasanya cenderung memiliki kinerja yang buruk untuk menjadi tanah dasar dalam mendukung infrastruktur, sehingga membutuhkan upaya perbaikan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya. Oleh karena itu, diperlukan usaha untuk meningkatkan kekuatan tanah.

Dalam usaha perbaikan tanah dapat dilakukan dengan cara fisik, mekanis, maupun kimiawi. Secara kimiawi perbaikan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan penambahan bahan aditif. Salah satu bahan aditif yang masih jarang dipakai untuk perbaikan tanah adalah *biochar*. *Biochar* merupakan padatan yang kaya akan karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa,

pengaplikasian *biochar* ke dalam tanah memiliki banyak manfaat seperti pengaruhnya terhadap sifat fisika (meningkatkan porositas, kapasitas memegang air, agregasi tanah), kimia (meningkatkan pH, kapasitas tukar kation, karbon organik tanah, retensi dan ketersedian hara), dan biologi tanah (mikroba dan cacing tanah) (Evizal et al., 2023). *Biochar* dapat dihasilkan dari limbah sekam padi, kulit buah kako, bonggol jagung, batang ubi kayu, ranting kayu legume, sabut kelapa, dan tempurung kelapa.

Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah, dikenal sebagai salah satu wilayah penghasil buah kelapa yang cukup besar. Limbah tempurung kelapa yang dihasilkan dari perkebunan dapat dimanfaatkan menjadi salah satu bahan aditif seperti *biochar*. Pada sebagian wilayah yang ada di Kabupaten Pulang Pisau memiliki kondisi tanah dengan daya dukung yang rendah salah satu wilayah dengan daya dukung tanah yang rendah adalah Desa Maliku Baru, Kecamatan Maliku, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah, sebagian besar daerah ini memiliki kondisi tanah yang lunak. Karena hal tersebut diperlukan upaya perbaikan pada tanah di Desa Maliku Baru dengan cara memanfaatkan limbah tempurung yang

diolah menjadi *biochar* untuk perbaikan tanah di Desa Maliku Baru.

Dengan penjelasan diatas, dilakukan perbaikan pada tanah dengan cara penambahan bahan *biochar* tempurung kelapa pada tanah yang ada di Desa Maliku Baru, dengan harapan penelitian ini dapat hasil yang signifikan terhadap parameter nilai PI dan nilai CBR tanah yang ada di Desa Maliku Baru, Kecamatan Maliku, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan karakteristik sifat - sifat fisik pada tanah di Desa Maliku Baru, Kecamatan Maliku, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah.
2. Memperoleh perbandingan nilai *Plasticity Index* (PI) dan *California Bearing Ratio* (CBR) pada tanah setelah diperkuat menggunakan penambahan biochar sebesar 8%, 12%, dan 16%.
3. Mengetahui perubahan nilai *Plasticity Index* (PI) dan *California Bearing Ratio* (CBR).

PENGERTIAN TANAH

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan - endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ruang di antara partikel - partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2002). Proses pelapukan batuan yang terjadi membentuk tanah, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel – partikel yang kecil yang terjadi dikarenakan erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel akibat perubahan suhu. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air yang mengandung asam atau alkali.

Menurut Braja M. Das, (1998) dalam (Sompie et al., 2018) tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong di dalam partikel – partikel padat tersebut. Tanah sendiri memiliki ukuran butiran yang berbeda – beda, dengan ukuran yang beragam.

BIOCHAR

Menurut Evizal, R., Dkk (2023) *Biochar* adalah padatan kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa seperti kayu, serasah, pupuk kandang, dan limbah lainnya di bawah suhu tinggi dan kondisi oksigen rendah. Pengaplikasi *biochar* ke dalam tanah dapat memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah yaitu dapat meningkatkan porositas, kapasitas memegang air, agregasi tanah, meningkatkan pH, kapasitas tukar kation, karbon organik tanah, retensi dan ketersediaan hara, dan meningkatkan kehidupan mikroba, meso dan makro fauna tanah.

Menurut Hermansah & Yulnafatmawita (2018) Bahan organik yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *biochar* juga beragam, dan telah banyak dikemukakan dalam penelitian. Diantaranya yaitu jerami padi, cangkang kelapa sawit, Jerami jagung dan tandan kosong kelapa

sawit, serbuk gergaji, dan sekam padi. Dan beberapa bahan lainnya yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku *biochar* adalah tongkol jagung, batang pepaya, dan tempurung kelapa (Agviolita et al., 2021)



Gambar 1. *Biochar*
Sumber: Mertani (2023)

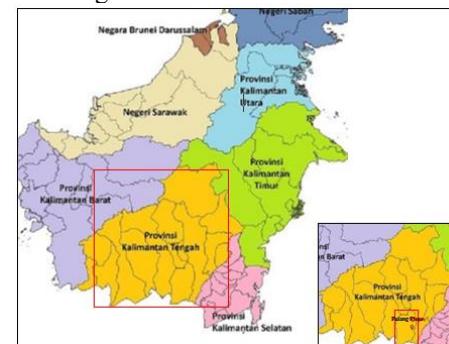
METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan tahapan sebagai berikut.

1. Persiapan
2. Pengambilan Sampel
3. Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli, meliputi:
 - a. Kadar Air
 - b. Berat Jenis
 - c. Analisa Saringan
 - d. Batas *Atterberg Limit*
 - e. Hidrometer
 - f. Pemadatan
 - g. *California Bearing Ratio* (CBR)
4. Pengujian Tanah Asli Dengan Tambahan Biochar 8%, 12% dan 16%, meliputi:
 - a. Berat Jenis
 - b. Batas *Atterberg Limit*
 - c. Pemadatan
 - d. *California Bearing Ratio* (CBR)
5. Analisis Hasil
6. Hasil Dan Kesimpulan

LOKASI PENELITIAN

Pengambilan sampel tanah berada di Desa Maliku Baru, Kecamatan Maliku, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah.



Gambar 2. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Provinsi Kalimantan Tengah
Sumber: Peta Wilayah (2018)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Geoteknik Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, dengan pengujian pada beberapa sampel berikut:

1. Tanah Asli
2. Tanah Asli + *Biochar* 8%
3. Tanah Asli + *Biochar* 12%
4. Tanah Asli + *Biochar* 16%

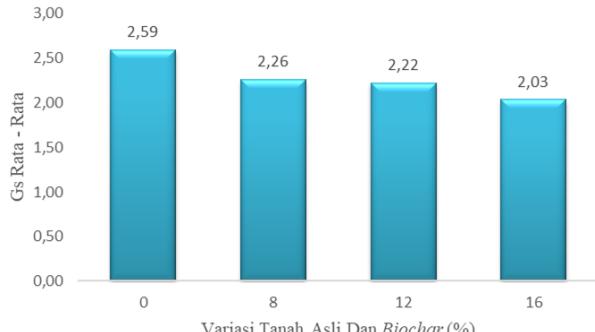
Hasil pengujian yang diperoleh pada tanah asli adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli

No	Pengujian	Hasil rata - rata pengujian			
		Tanah Asli	Tanah Asli dengan tambahan <i>Biochar</i>	0%	8%
1.	Kadar Air	7,55	-	-	-
2.	Berat Jenis	2,59	2,28	2,24	2,05
3.	Analisa Saringan				
	Lolos Saringan No. 200	36,46	-	-	-
4.	<i>Atterberg Limit</i>				
	Batas Cair (LL)	66,10	LL	LL	LL
	Batas Plastis(PL)	32,46	PL	PL	PL
	Indeks Plastis (PI)	33,64	PI	PI	PI
5.	Pemadatan				
	KAO	28,50	1,26	1,19	1,18
	Berat Isi Kering	1,28	-	-	-
6.	CBR Lab				
	CBR 100%	2,95	23,00	27,00	29,70
	CBR 95%	2,80	21,85	25,65	28,22
7	Klasifikasi				
	AASHTO		A -7-5		
	USCS		SC		

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Hasil Pengujian Berat Jenis

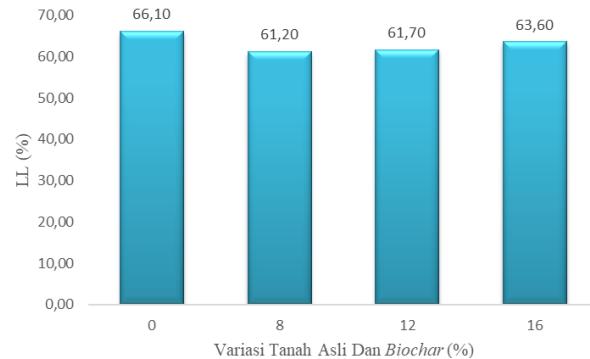


Gambar 3. Grafik Berat Jenis Tanah Asli Dengan Tambahan *Biochar*

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Dari Gambar 3 diperoleh nilai berat jenis (Gs) pada tanah asli sebesar 2,59, dan nilai berat jenis (Gs) pada tanah dengan tambahan *biochar* 8%, 12%, dan 16% diperoleh berat jenis (Gs) sebesar 2,26, 2,22, dan 2,03. Berdasarkan gambar 3 nilai berat jenis (Gs) tanah asli tersebut termasuk kedalam jenis lempung organik.

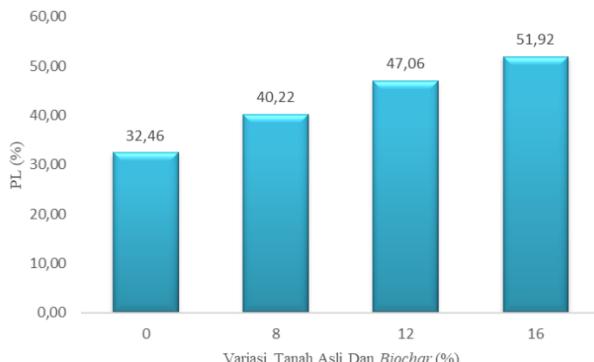
Hasil Pengujian Atterberg Limit



Gambar 4. Grafik Batas Cair (LL) Tanah Asli Dengan Tambahan *Biochar*

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Pada Gambar 4 Batas cair (LL) tanah asli diperoleh nilai kadar air pada pukulan ke - 25 sebesar 66,10%, pada tanah asli dengan tambahan *biochar* 8% diperoleh nilai kadar air pada pukulan ke - 25 sebesar 61,20%, pada tanah asli dengan tambahan *biochar* 12% diperoleh nilai kadar air pada pukulan ke - 25 sebesar 61,70%, dan pada tanah asli dengan tambahan *biochar* 16% diperoleh nilai kadar air pada pukulan ke - 25 sebesar 63,60%.

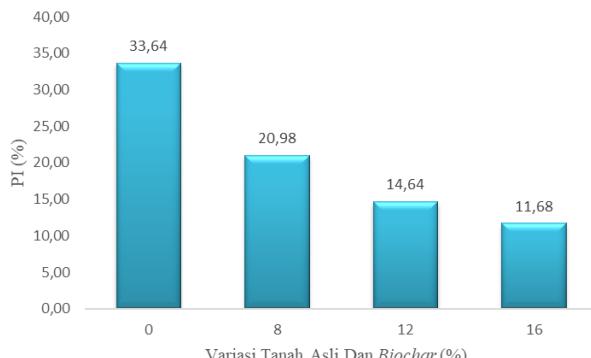


Gambar 5. Grafik Batas Plastis (PL) Tanah Asli Dengan Tambahan *Biochar*

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh nilai batas plastis tanah asli sebesar 32,46%. Sedangkan pada nilai batas plastis tanah asli dan tambahan *biochar* 8%, 12%, dan 16% diperoleh nilainya masing-masing 40,22%, 47,06%, dan 51,92%.

Nilai indeks plastisitas didapatkan dari hasil pengurangan nilai batas cair dengan nilai batas plastis. Hasil pengujian indeks plastisitas (PI) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Indeks Plastisitas (PI) Tanah Asli Dengan Tambahan *Biochar*
Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Dari Gambar 6 pengujian tanah asli diperoleh nilai PI sebesar 33,64%. Berdasarkan Gambar 6 tanah tersebut termasuk kedalam rentang nilai PI >17, maka tanah tersebut merupakan jenis tanah lempung dengan plastitas tinggi dan tanah tersebut juga merupakan tanah kohesif. Pada saat penambahan *biochar* 8%, 12%, dan 16% mengalami penurunan nilai PI masing – masing sebesar 20,98%, 14,64%, dan 11,68%.

Hasil Pengujian Pemadatan

Tabel 3. Hasil Kadar Air Optimum (ω_{opt}) Dan Berat Isi Kering (γ_d) Pemadatan

Variasi	ω_{opt} (%)	γ_d (gr/cm ³)
Tanah Asli	28,50	1,28
Tanah Asli + Biochar 8%	23,00	1,26
Tanah Asli + Biochar 12%	27,00	1,19
Tanah Asli + Biochar 16%	29,70	1,18

Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Dari Tabel 3 diketahui nilai kadar air optimum tanah asli sebesar 28,50% dengan nilai berat isi kering sebesar 1,28 gr/cm³, nilai kadar air optimum tanah dengan tambahan *biochar* 8% sebesar 23,00% dengan nilai berat isi kering 1,26 gr/cm³, nilai kadar air optimum tanah dengan tambahan *biochar* 12% sebesar 27,00% dengan nilai berat isi kering 1,19 gr/cm³, dan nilai kadar air optimum tanah dengan tambahan *biochar* 16% sebesar 29,70% dengan nilai berat isi kering 1,18 gr/cm³.

Hasil Pengujian California Bearing Ratio (CBR)



Gambar 7. Grafik California Bearing Ratio (CBR) Tanah Asli Dengan Tambahan *Biochar*

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Berdasarkan Gambar 7 diatas dapat diketahui bahwa setiap tambahan *biochar* dapat meningkatkan nilai CBR. Nilai CBR pada tanah asli sebesar 2,95%, setelah ditambah dengan *biochar* 8%, 12% dan 16% nilai CBR tersebut meningkat masing – masing sebesar 5,6%, 7,1%, 9,1%.

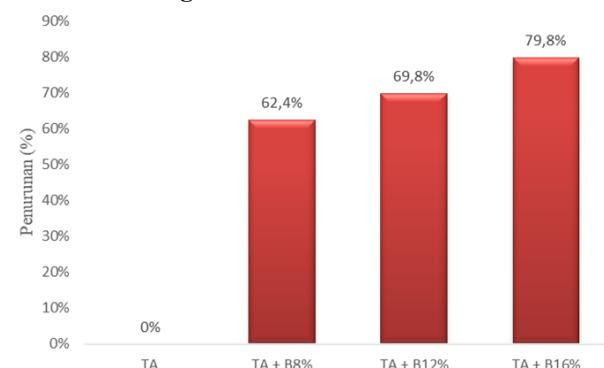
Tabel 4. Perbandingan Hasil Pengujian CBR serta kegunaanya

No	Jenis Pengujian	CBR (%)	Penggunaan
1	Tanah Asli	2,95	Subgrade
2	Tanah Asli + Biochar 8%	5,6	Subgrade
3	Tanah Asli + Biochar 12%	7,1	Sub base
4	Tanah Asli + Biochar 16%	9,2	Sub base

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

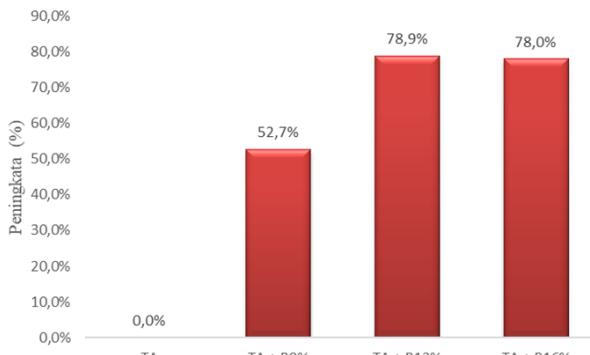
Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa penambahan *biochar* dapat mempengaruhi nilai CBR tanah asli. Dengan penambahan *biochar* 12% dan 16% dapat meningkatkan fungsi tanah asli yang sebelumnya sebagai *subgrade* menjadi *sub base*, dengan penggunaan *biochar* diharapkan dapat mengurangi penggunaan material agregat pada perbaikan jalan.

Hasil Perbandingan Nilai PI Dan Nilai CBR



Gambar 8 Grafik Perubahan Nilai PI Tanah Asli Dan Tanah Dengan Tambahan *Biochar*
Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Berdasarkan hasil pengujian PI tanah asli diperoleh sebesar 33,64%, setelah dilakukan penambahan *biochar* 8%, 12%, dan 16% mengalami penurunan yaitu masing – masing sebesar 20,98%, 14,64%, dan 11,68%.



Gambar 9 Grafik Perubahan Nilai CBR Tanah Asli Dan Tanah Dengan Tambahan *Biochar*
Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Berdasarkan hasil pengujian CBR tanah asli diperoleh sebesar 2,95%, setelah dilakukan penambahan *biochar* 8%, 12%, dan 16% mengalami peningkatan yaitu masing – masing sebesar 5,6%, 7,1%, dan 9,1%.

Perbandingan Nilai CBR Dengan Penelitian Sebelumnya

Berikut perbandingan nilai CBR yang distabilisasi dengan *biochar* dan penelitian terdahulu terkait penelitian hasil nilai CBR yang distabilisasi dengan bahan aditif lainnya.

Tabel 5. Perbandingan Nilai CBR Dengan Penelitian Sebelumnya

No	Nama	Variasi	CBR (%)
1	Defrin Delina (2025)	Tanah Asli	2,95%
		Tanah Asli + <i>Biochar</i> Tempurung Kelapa 8%	5,6%
		Tanah Asli + <i>Biochar</i> Tempurung Kelapa 12%	7,1%
2	Maitimu, A., Dkk (2023)	Tanah Asli + <i>Biochar</i> Tempurung Kelapa 16%	9,1%
		Tanah Asli	1,67%
		Tanah Asli + Arang Tempurung Kelapa 5%	3,22%
		Tanah Asli + Arang Tempurung Kelapa 10%	6,54%
3	Suharno, Dkk (2022)	Tanah Asli + Arang Tempurung Kelapa 15%	8,70%
		Tanah + 0% Serbuk Arang Tempurung Kelapa Rendaman 4 Hari	3,2%
		Tanah + 5% Serbuk Abu Arang Tempurung Kelapa Rendaman 4 Hari	5,1%
		Tanah + 10% Serbuk Abu Arang Tempurung Kelapa Rendaman 4 Hari	6,6%
		Tanah + 15% Serbuk Abu Arang Tempurung Kelapa Rendaman 4 Hari	8,4%
		Tanah + 20% Serbuk Abu Arang Tempurung Kelapa Rendaman 4 Hari	5,9

Sumber: Hasil Pengujian (2025)

Justifikasi Teknis Berdasarkan Klasifikasi Tanah Keberhasilan penurunan Indeks Plastisitas (PI) tanah sangat signifikan, di mana PI turun dari 33,64% (tanah asli) menjadi 11,68% pada kadar *biochar* 16%. Secara rekayasa, penurunan ini memindahkan klasifikasi tanah ke kategori yang jauh lebih baik. Berdasarkan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*), tanah asli telah bergeres menuju batas material yang kurang rentan terhadap kembang susut. Nilai PI $< 12\%$ seringkali menjadi batas kritis untuk material yang dapat digunakan pada lapisan *subgrade* atau *sub-base* tanpa risiko perubahan volume yang parah. Oleh karena itu, *biochar* tempurung kelapa terbukti efektif dalam memitigasi risiko geoteknik yang terkait dengan tanah berplastisitas tinggi.

KESIMPULAN

1. Tanah yang berasal dari Desa Maliku Baru, Kecamatan Maliku, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah memiliki karakteristik sebagai berikut:
 - a. Berat jenis (Gs) rata – rata sebesar 2,59% maka tanah tersebut masuk kedalam jenis tanah lempung organik.
 - b. Batas – batas *Atterberg Limit* tanah asli diperoleh batas cair (LL) sebesar 66,10%, *Plastic Limit* (PL) sebesar 32,46% sehingga didapatkan nilai *Plasticity Index* (PI) yaitu sebesar 33,64%. Berdasarkan nilai PI yang diperoleh, tanah tersebut masuk kedalam kategori tanah kohesif dengan plastisitas tinggi.
 - c. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS menunjukkan bahwa tanah asli masuk kedalam kelompok SC jenis pasir berlempung.
 - d. Berdasarkan AASHTO menunjukkan bahwa tanah asli masuk kedalam klasifikasi kelompok A-7-6 dengan kategori tanah berlempung sedangkan untuk penilaian umum sebagai tanah dasar masuk kategori sedang sampai buruk.
2. Perubahan *Plasticity Index* (PI) dan *California Bearing Ratio* (CBR) sebelum dan sesudah penambahan bahan *biochar* adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai PI pada tanah asli sebesar 33,64% sedangkan nilai CBR pada tanah asli sebesar 2,95%
 - b. Nilai PI pada tanah dengan tambahan *biochar* 8%, 12% dan 16% adalah sebesar 20,98%, 14,64% dan 11,68% sedangkan nilai CBR tanah dengan tambahan *biochar* 8%, 12% dan 16% adalah sebesar 5,60%, 7,10%, dan 9,10%.
3. Berdasarkan pengujian penambahan *biochar* dapat menurunkan nilai PI dan dapat meningkatkan nilai CBR. Dan penambahan *biochar* paling optimum dalam meningkatkan nilai CBR tanah adalah penambahan 8%. Dari yang sebelumnya 2,95% menjadi 9,10% dengan nilai PI tanah asli sebesar 33,64% menjadi 11,68%.

Kelayakan Aplikasi Lapangan dan Aspek Ekonomis

Aspek Kelayakan (Feasibility) Penggunaan 16% Biochar:

Meskipun kadar 16% *biochar* (berdasarkan berat kering tanah) memberikan hasil teknis terbaik, proporsi ini merupakan volume yang sangat tinggi untuk aplikasi stabilisasi di lapangan. Untuk jalan sepanjang 1 kilometer dengan lebar 6 meter dan kedalaman stabilisasi 50 cm, total volume tanah yang distabilkan sangat besar. Oleh karena itu, implementasi di lapangan memerlukan pertimbangan logistik dan ekonomis yang cermat.

Aspek Ekonomis dan Ketersediaan:

Ketersediaan *biochar* tempurung kelapa di Kabupaten Pulang Pisau (sebagai limbah lokal) menjadi faktor kunci. Walaupun limbah ini tersedia, biaya yang dibutuhkan untuk proses pirolisis (pembuatan *biochar*) dan biaya pencampuran dengan volume 16% perlu dianalisis secara komparatif dengan stabilisasi konvensional (kapur atau semen). Penelitian selanjutnya disarankan untuk menghitung Analisis Biaya Satuan per kilometer jalan untuk membandingkan biaya stabilisasi *biochar* 16% dengan solusi geoteknik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agviolita, P., Yushardi, Y., & Anggraeni, F. K. A. (2021). Pengaruh Perbedaan Biochar terhadap Kemampuan Menjaga Retensi pada Tanah. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 267–273. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.267-273.2021>
- Dermawan, H. (2018). L Aboratorium M Ekanika T Anah Uji Batas – Batas Atterberg Astm D-4318-00.
- Evizal, R., Fem briarti, D., & Prasmatiwi, E. (2023). Biochar: Pemanfaatan Dan Aplikasi Praktis Biochar: Beneficial and Best Practices. *Jurnal Agrotropika*, 22(1), 1–12.
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Ullu, M. C. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 89–102.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I Jilid III. Gadjah Mada University Press, 1.
- Hermansah, H., & Yulnafatmawita, Y. (2018). KLASIFIKASI BEBERAPA SUMBER BAHAN ORGANIK. 8–16.
- Maitimu, A., Latar, S., Selfi, Y., & Tabakwan, L. (2023). Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Arang Tempurung Kelapa Pada Tanah Dasar Perkerasan Jalan Ruas Ilngel-Aruidas. 3(September).
- Mina, E., Kusuma, R. I., & Ridwan, J. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Pasir Laut Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus : Jalan Mangkualam Kecamatan Cimanggu – Banten). *Jurnal Fondasi*, 6(2), 13–23. <https://doi.org/10.36055/jft.v6i2.2472>
- Mukminin, A., & Riana, D. (2017). Komparasi Algoritma C4 . 5 , Naïve Bayes Dan Neural Network Untuk Klasifikasi Tanah. *Jurnal Informatika Universitas Bina Sarana Informatika*, 4(1), 21–31. <https://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/ji/article/view/1002>
- Nasrani, F., Oktovian, L., Sompie, B. A., & Sumampouw, J. E. R. (2020). Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum. *Jurnal Sipil Statik*, 8(2), 197–204.
- Riwayati, R. S., & Yuniar, R. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 104–111. <https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v8i2.32>
- Rochmawati, R., & Irianto. (2022). Tinjauan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Untuk Menetukan Daya Dukung Tanah (Studi Kasus: Jalan Baru Kayu Batu Base-G Jayapura Sta 0+200). *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 3(1), 50–58.
- Simanjuntak, M. R. A., Lubis, K., & Rangkuti, N. M. (2017). Stabilization of Clay Lands with Coastal Sand Mixes on CBR Value. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*, 1(September), 96–104.
- SNI 1743. (2008). SNI 1743:2008 Cara uji kepadatan berat untuk tanah. Standar Nasional Indonesia.
- SNI 1744. (2012). Metode uji CBR laboratorium Badan Standardisasi Nasional. Badan Standardisasi Nasional, 1–28. www.bsn.go.id
- SNI 1964:2008. (2008). Standar Nasional Indonesia Cara uji berat jenis tanah Kembali ke daftar. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1965:2008. (2008). Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. Sni 1965:2008, 1–16.
- SNI 1966:2008. (2008). SNI 03-1966:2008 Batas Plastis dan Indeks Plastis.
- SNI 1967:2008. (2008). SNI 1967:2008 Cara Uji Batas Cair Tanah. Badan Standarisasi Nasional, 1–15.
- SNI 3423:2008. (2008). ICS 93.020 Badan Standardisasi Nasional. Cara uji analisis ukuran butir tanah, 1–27.
- Sompie, G. M. E., Sompie, O. B. A., & Rondonuwu, S. (2018). Analisis Stabilitas Tanah dengan Model Material Mohr Coulomb dan Soft Soil. *Jurnal Sipil*
- Suharno, Akhmad Gazali, E. P. (2022). Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Terhadap Stabilisasi Daya Dukung Tanah Lempung (Studi Kasus : Kecamatan Tabunganan, Kabupaten Barito Kuala, Provinsi Kalimantan Selatan).
- Suzanna, B., Lie, I., Wong, K., Datu, M., Palinggi, M., Program, M., Teknik, S., Kristen, U., & Paulus, I. (2021). Pengaruh Penambahan Abu Arang Tempurung Kelapa Pada Tanah Lempung Terhadap Hasil Uji Kompaksi.