

Pemanfaatan abu serbuk kayu dan serbuk cangkang kerang sebagai material stabilisasi tanah lunak

Irvan Ustuchri, Anita Setyowati Srie Gunarti*, Sri Nuryati, Elma Yulius, Eko Darma, Ninik Paryati, Fajar Prihesnanto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam 45, Bekasi, Jawa Barat, Indonesia

*Corresponding authors: anita_ft@unismabekasi.ac.id

Submitted: 28 February 2023, Revised: 4 October 2023, Accepted: 7 November 2023

ABSTRACT: Muara Gembong Sub-district, Bekasi Regency, West Java Province, has many damaged and bumpy roads. This area is coastal and some parts of the area are swampy soils that have low bearing strength, not meeting the required bearing strength (CBR) of at least 6%. This research aims to analyze the effect of the addition of sawdust ash and clam shell powder as soil stabilization material on bearing strength, in this case the California Bearing Ratio value. The method used in this research is a laboratory experiment of soft soil stabilization mixed with additive materials in the form of sawdust ash and clam shell powder at a proportion of 2% and 4% to the dry weight of the soil. Tests carried out include Atterberg limit test, compaction, and CBR in unsubmerged conditions. The analysis showed that the soil mixed with 4% clam shell powder without sawdust ash increased the CBR value by 84.32% against the original soil CBR. Soil mixed with clam shell powder and sawdust ash also experienced an increase in bearing strength but not as good as soil mixed with clam shell powder alone.

KEYWORDS: CBR; sawdust; shell powder; soft soil; soil stabilization.

ABSTRAK: Kecamatan Muara Gembong Kabupaten Bekasi Provinsi Jawa Barat banyak dijumpai jalan yang rusak dan bergelombang. Wilayah ini merupakan pesisir laut dan beberapa bagian wilayahnya merupakan tanah rawa yang memiliki kuat dukung yang rendah, tidak memenuhi kuat dukung yang dipersyaratkan yaitu CBR minimum 6%. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu serbuk kayu dan serbuk cangkang kerang sebagai material stabilisasi tanah terhadap kuat dukung, dalam hal ini yaitu nilai California Bearing Ratio. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu eksperimen laboratorium stabilisasi tanah lunak yang dicampurkan dengan material aditif berupa abu serbuk kayu dan serbuk cangkang kerang pada proporsi 2% dan 4% terhadap berat kering tanah. Pengujian yang dilakukan meliputi uji batas Atterberg, pemadatan, dan CBR kondisi tidak terendam. Hasil analisis menunjukkan bahwa tanah yang dicampur dengan 4% serbuk cangkang kerang tanpa abu serbuk kayu mengalami peningkatan nilai CBR sebesar 84.32% terhadap CBR tanah asli. Tanah yang dicampur dengan serbuk cangkang kerang dan abu serbuk kayu juga mengalami peningkatan kuat dukung namun tidak sebaik tanah yang dicampur dengan serbuk cangkang kerang saja.

KATA KUNCI: CBR; abu serbuk kayu; serbuk cangkang kerang; tanah lunak; stabilisasi tanah.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1. PENDAHULUAN

Jalan di beberapa wilayah di Desa Hurip Jaya, Muara Gembong, Jawa Barat banyak ditemui kerusakan seperti bergelombang dan lain sebagainya akibat aktifitas warga dan adanya proyek konstruksi di wilayah tersebut. Hal tersebut mengindikasikan masalah pada daya dukung tanah sebagai *subgrade* jalan. Penggunaan tanah sebagai *subgrade* jalan harus mempunyai kekuatan *California Bearing Ratio* (CBR) tertentu. Di Indonesia nilai CBR yang dipersyaratkan untuk *subgrade* jalan yaitu minimum 6%. Tanah yang tidak memenuhi syarat terutama jenis tanah lempung lunak biasanya dibuang dan digantikan dengan tanah yang lebih baik. Pada wilayah tertentu, pekerjaan seperti ini cukup sulit dilakukan, kurang efektif dan berbiaya besar. Tanah pengganti yang relatif baik

terkadang sangat sulit didapat dan bahkan belum tentu tersedia. Di beberapa wilayah terutama daerah rawa dan pesisir laut seperti pada wilayah Muara Gembong banyak terdapat tanah lunak berdaya dukung rendah (Gambar 1) karena itu diperlukan upaya untuk memperbaiki daya dukung tanah. Beberapa teknik perbaikan tanah yang paling umum digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah adalah stabilisasi mekanis (bahan tambah) dan perbaikan kimiawi. Perbaikan mekanis melibatkan penggunaan tiang pancang, pemadatan tanah, dan metode lain untuk mencegah perubahan massa tanah. Perbaikan kimiawi melibatkan penambahan bahan kimia yang memiliki sifat khusus pada tanah. Penggunaan bahan-bahan ini telah banyak digunakan sebagai bahan stabilisasi. Untuk mengurangi biaya konstruksi, bahan alternatif

diperlukan untuk stabilisasi tanah karena harganya mahal.



Gambar 1. Tanah lunak wilayah Muara Gembong

Karena Muara Gembong berada di pesisir laut, banyak kerang yang dijual di sana, sehingga terjadi penumpukan cangkang kerang yang dibuang begitu saja. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa cangkang kerang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk memperbaiki sifat mekanis tanah lempung.

Beberapa peneliti pernah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan serbuk cangkang kerang yang di stabilisasi pada tanah lunak. Aziudin & Andajani (2019) melaporkan bahwa serbuk cangkang kerang mampu meningkatkan nilai kuat tekan bebas. Salim & Rahmawati (2019) melaporkan adanya perbaikan sifat mekanis tanah rawa akibat Penambahan Limbah Cangkang Tiram. Iskandar (2020) melakukan penelitian penggunaan serbuk cangkang kerang dan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah lempung yang melaporkan bahwa terjadi peningkatan nilai CBR. Waldi & Kusuma (2004) melaporkan terjadi perbaikan sifat mekanis tanah lempung sokka yang distabilisasi dengan serbuk kulit kerang. Pane (2020) menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan nilai CBR pada tanah lempung yang distabilisasi dengan serbuk cangkang kerang dan *bottom ash*. Prakoso & Asyifa (2021) menyimpulkan bahwa serbuk cangkang kerang dan limbah marmer dapat memperbaiki sifat mekanis tanah. Hermansyah & Zebua (2019) menyimpulkan bahwa penambahan limbah kerang pada tanah lempung berhasil meningkatkan nilai CBR.

Sebaliknya, industri furnitur menyebabkan banyak serbuk kayu di wilayah ini. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa serbuk kayu dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan sifat mekanis tanah lempung. Supardin, (2021) memeriksa parameter geser tanah lempung yang dihasilkan dari stabilisasi dengan abu serbuk kayu dan menemukan bahwa parameter geser tanah meningkat.

Herman & E. (2017) melaporkan bahwa abu serbuk kayu dapat meningkatkan nilai CBR tanah. Kustantrika (2017) melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah rawa dengan menggunakan limbah

gergaji kayu dan serbuk limbah botol kaca. Hasilnya adalah nilai CBR meningkat secara signifikan. Yulianti et al. (2021) melakukan penelitian tentang penggunaan abu serbuk kayu, kapur, dan abu serbuk kayu terhadap kuat geser dan daya dukung tanah lempung, dan menemukan bahwa sifat mekanis mengalami perubahan yang signifikan. Anggraini et al. (2023) melaporkan bahwa nilai CBR mengalami peningkatan pada tanah yang distabilisasi dengan serbuk cangkang kerang.

Dari beberapa referensi tersebut, penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan dua jenis limbah berupa serbuk cangkang kerang dan abu serbuk kayu yang digunakan sebagai material stabilisasi tanah lunak terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) di wilayah pesisir laut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana abu serbuk kayu dan serbuk cangkang kerang yang dikombinasikan dapat digunakan sebagai bahan aditif atau stabilisasi tanah lunak terhadap nilai CBR. Penggunaan kedua bahan limbah ini diharapkan dapat mengurangi penumpukan limbah yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan, serta dapat meningkatkan daya dukung tanah sebagai *subgrade* jalan.

2. METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam 45, Bekasi. Tanah lempung sebagai sampel diambil di ruas jalan Desa Hurip Jaya, Muara Gembong, Jawa Barat. Pengambilan sampel tanah menggunakan cangkul dengan kedalaman 50 cm – 100 cm. Sampel tanah tersebut kemudian dikeringkan hingga kondisi kering udara.



Gambar 2. Abu serbu kayu

Serbuk kayu berasal dari limbah industri pabrik pembuatan furniture di wilayah Muara Gembong, kemudian dibakar hingga menjadi abu serbuk kayu (ASK) (Gambar 2). Cangkang kerang berasal dari pasar dan nelayan di sekitar Muara Gembong (Gambar 3).

Cangkang kerang tersebut di haluskan hingga menjadi serbuk cangkang kerang (SCK). Persentase penambahan serbuk cangkang kerang adalah 0%, 2%, dan 4% dari berat kering tanah dengan kondisi tanah terganggu, sedangkan persentase penambahan abu

serbuk kayu adalah 0%, 2%, dan 4% dari berat kering tanah dengan masa perawatan 1 hari (didiamkan dalam kantong kedap air). Variasi campuran disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3. Cangkang kerang

Tabel 1. Variasi kadar aditif pada tanah lunak

Nomor Variasi	Aditif	
	ASK ^a (%)	SCK ^b (%)
1 ^c	0	0
2	0	2
3	0	4
4	2	0
5	4	0
6	2	2
7	2	4
8	4	2
9	4	4

^aAbu Serbuk Kayu

^bSerbuk Cangkang Kerang

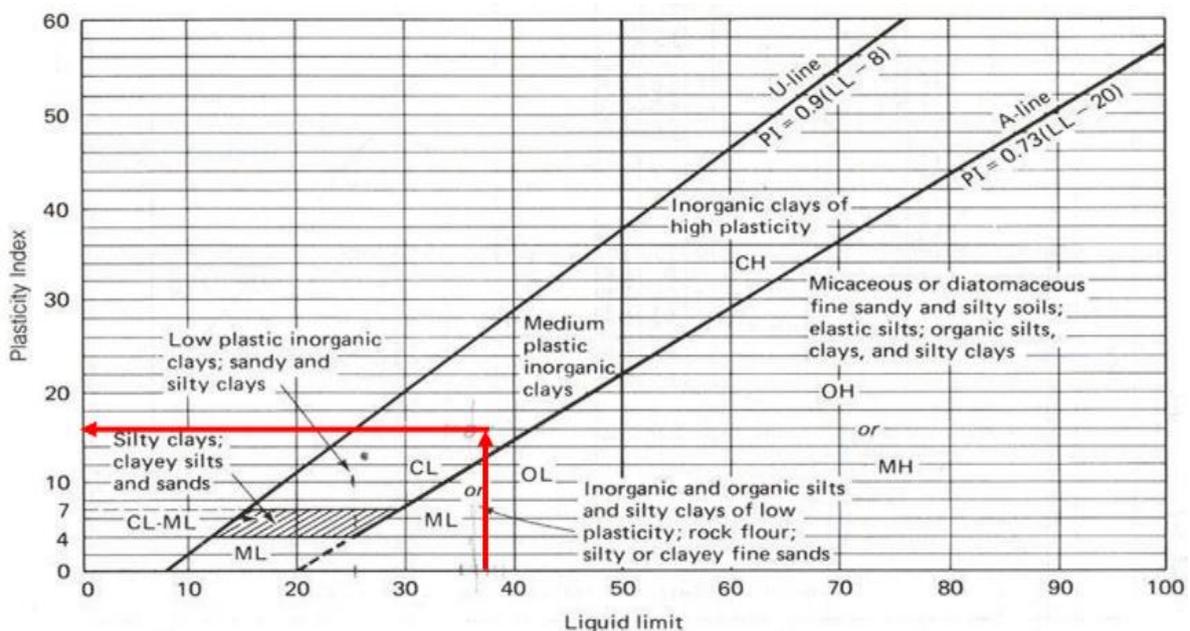
^cTanah Asli tanpa aditif

Pengujian yang dilakukan yaitu uji batas konsistensi (*Atterberg Limit*), analisa butiran (*sieve analysis*) Pemadatan, dan CBR kondisi tidak terendam (*unsoaked CBR*). Masing-masing perlakuan terdiri dari 3 benda uji. Proses persiapan benda uji meliputi penyaringan tanah (lolos saringan no 4) kemudian dicampurkan dengan aditif (ASK dan SCK) selanjutnya dimasukkan kedalam kantong kedap udara dan didiamkan selama 1 hari untuk mendapatkan campuran yang homogen. Selanjutnya dilakukan uji pemadatan standar *proctor* untuk mendapatkan kadar air optimum (*optimum moisture content-OMC*) dan kepadatan kering maksimum (*maximum dry density-MDD*). Kadar air optimum yang didapatkan dari uji pemadatan ini akan digunakan untuk membuat benda uji CBR. Setelah sampel dicetak dalam cetakan CBR, sampel ditutup dan didiamkan selama 1 hari kemudian dilakukan pengujian CBR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tanah Asli

Hasil Uji sifat Fisik dan mekanis tanah asli disajikan pada Tabel 2. Tanah asli memiliki berat jenis (*specific gravity*) sebesar 2.5565. Hasil uji *atterberg limit* pada tanah asli didapat nilai batas cair sebesar 38.38%, nilai batas plastis sebesar 22.30%, sehingga indeks plastisitas sebesar 16.08%. Berdasarkan hasil *atterberg limit* dapat diterapkan di grafik klasifikasi tanah dengan *Sistem Unified Soil Classification System* (USCS) menunjukkan termasuk kelompok dengan kode CL (*clay of low plasticity*), maka tanah tersebut merupakan jenis tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang. Adapun klasifikasi tanah menurut sistem USCS dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Klasifikasi tanah asli Muara Gembong dengan sistem USCS (Sumber: Hardiyatmo, 2012)

Tabel 2. Sifat fisik dan mekanik tanah asli

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Nilai
1	Specific gravity (Gs)	-	2.5565
2	Batas cair	%	38.38
3	Batas plastis	%	22.30
4	Indeks plasitisitas	%	16.08
5	Lolos ayakan no 200	%	99.88
6	Klasifikasi tanah	-	CL
7	Berat isi kering (Yd)	gr/cm ³	1.463
8	Kadar air optimum	%	21.5
9	CBR (Unsoaked)	%	1.340

Dari hasil pengujian pemadatan pada tanah asli diperoleh nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 21.5% dengan γ_{dmax} sebesar 1.463 g/cm³. Hasil pengujian analisa gradasi pada tanah asli di peroleh data berupa persentase tanah lolos ayakan no. 200 sebesar 99.88% tanah termasuk dalam jenis lempung berlanau. Nilai CBR tanah asli sebesar 1.340 < 5 maka dikategorikan sebagai tanah buruk untuk *subgrade* jalan (Barnas & Karobekoa, 2018).

3.2 Tanah Stabilisasi

Hasil uji batas *atterberg*, pemadatan, dan CBR tanah yang distabilisasi disajikan pada Tabel 3. Batas cair tanah asli (TA) memiliki nilai sebesar 38.38%. Nilai batas cair tertinggi terdapat pada penambahan persentase TA + 4% ASK sebesar 39.39% yang artinya terjadi peningkatan sebesar 2.63% terhadap batas cair tanah asli. Sedangkan nilai batas cair terkecil pada terdapat pada penambahan TA + 4% SCK sebesar 35.39% yang artinya terjadi penurunan batas cair sebesar 7.79% terhadap tanah asli. Hal ini disebabkan penggunaan sifat abu serbuk kayu (ASK) mempunyai daya serap air yang tinggi sehingga meningkatkan nilai batas cair, lain halnya dengan serbuk cangkang kerang (SCK) yang memberikan penurunan pada nilai batas cair.

Batas plastis tanah asli (TA) memiliki nilai sebesar 22.30%. Nilai batas plastis tertinggi terdapat pada penambahan persentase TA + 2% ASK + 2% SCK sebesar 27.36% yang artinya terjadi peningkatan sebesar 22.69% terhadap batas plastis tanah asli. Sedangkan nilai batas plastis terkecil pada terdapat pada penambahan TA + 4% SCK sebesar 21.27% yang artinya terjadi penurunan batas plastis sebesar 4.62% batas plastis tanah asli. Pengaruh penggunaan campuran abu serbuk kayu (ASK) dan serbuk cangkang kerang (SCK) meningkatkan nilai batas plastis, disebabkan peningkatan kadar air untuk membuat tanah dalam keadaan semi plastis. Semakin besar penambahan kadar campuran abu serbuk kayu (ASK) dan serbuk cangkang kerang (SCK) maka nilai batas plastis pun akan semakin membesar.

Tabel 3. Hasil uji batas *Atterberg*

Nomor Varian	Campuran	Batas Atterberg		
		LL (%)	PL (%)	IP (%)
1	Tanah Asli (TA)	38,38	22,30	16,08
2	TA+2%SC K	35,40	21,45	13,95
3	TA+4% SCK	35,39	21,27	14,12
4	TA+2% ASK	39,22	22,81	16,41
5	TA+4%AS K	39,39	23,20	16,19
6	TA+2%AS K+2%SCK	36,92	27,36	9,56
7	TA+2%AS K+4%SCK	36,89	22,71	14,18
8	TA+4%AS K+2%SCK	38,46	22,59	15,87
9	TA+4%AS K+4%SCK	37,54	25,79	11,75

Indek plastisitas tanah asli (TA) memiliki nilai sebesar 16.08%. Nilai indeks plastisitas tertinggi terdapat pada penambahan persentase TA + 2% ASK sebesar 16.41% yang artinya terjadi peningkatan sebesar 2.05% terhadap indeks plastisitas dari tanah asli. Sedangkan nilai indeks plastisitas terendah pada terdapat pada penambahan TA + 2% ASK + 2% SCK sebesar 9.56% yang artinya terjadi penurunan indeks plastisitas sebesar 40.55% dari tanah asli. Penambahan ASK dan SCK pada tanah cenderung menurunkan nilai indeks plastisitas. Berdasarkan keadaan setiap variasi sesuai dengan tabel indeks plastisitas menyatakan bahwa nilai PI < 17, maka tanah tersebut tergolong ke dalam tanah lempung berlanau kohesif berplastisitas sedang (Jumikis, 1983).

Tabel 4. Hasil uji pemadatan

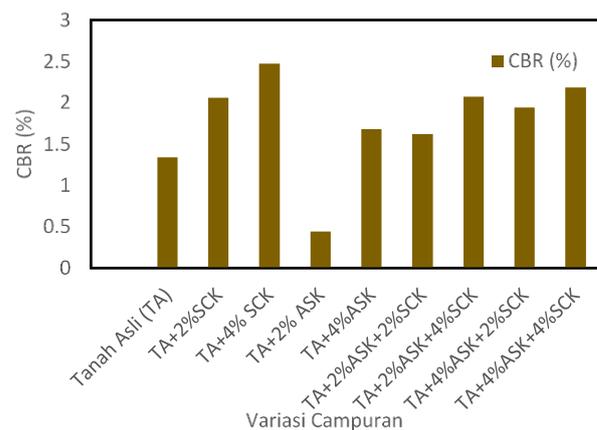
Nomor Varian	Campuran	Pemadatan	
		OMC (%)	MDD (gr/cm ³)
1	Tanah Asli (TA)	21.5	1.463
2	TA+2%SCK	21.6	1.487
3	TA+4% SCK	24.2	1.472
4	TA+2% ASK	23.6	1.462
5	TA+4%ASK	24.1	1.454
6	TA+2%ASK+2%SCK	24.9	1.463
7	TA+2%ASK+4%SCK	23.8	1.452
8	TA+4%ASK+2%SCK	24.6	1.468
9	TA+4%ASK+4%SCK	24.2	1.462

Pengujian pemadatan tanah (Tabel 4) menunjukkan bahwa tanah asli (TA) memiliki berat isi kering 1.463 kg/cm^3 . Pada variasi TA+2% SCK, berat isi kering meningkat sebesar 1.487 kg/cm^3 , yang menghasilkan peningkatan 1.62% dari tanah asli, dan pada variasi TA+4% SCK, berat isi kering meningkat sebesar 1.472 kg/cm^3 , yang menghasilkan peningkatan 0.62% dari tanah asli. Namun, ketika penambahan SCK lebih lanjut dilakukan, Penambahan serbuk cangkang kerang dapat mengurangi indeks plastisitas tanah, yang merupakan ukuran kemampuan tanah untuk berubah bentuk di bawah tekanan. Tanah dengan indeks plastisitas yang lebih rendah menunjukkan bahwa tanah tidak terlalu rentan terhadap kerusakan dan lebih baik menahan beban dari luar. Ini dapat meningkatkan kepadatan tanah yang telah kering (Patel & Mishra, 2017).

Serbuk cangkang kerang dalam campuran tanah juga dapat meningkatkan porositas tanah, yaitu jumlah ruang yang ada di antara partikel tanah. Porositas yang lebih tinggi dapat membantu tanah menyerap dan mendistribusikan beban dari luar, yang dapat menyebabkan tanah menjadi lebih kuat secara keseluruhan. Ini dapat meningkatkan kepadatan tanah kering (Saini & Garg, 2018). Sebaliknya, setelah tanah melewati penambahan bahan stabilisator yang efektif, berat isi kering menurun. Bertambahnya jumlah bahan aditif terhadap berat tanah asli (TA) menyebabkan kemampuan mengikatnya berkurang. Akibatnya, ikatan antara butiran pada tanah dan air berkurang, sehingga tanah menjadi lebih mudah lepas atau pecah (Pane, 2020).

Hasil uji CBR disajikan pada Gambar 5. Nilai CBR tanah asli tidak terendam (*unsoaked*) yaitu sebesar 1.34%. Pada variasi 4% SCK sebesar 2.44% meningkat 84.85% dari tanah asli sedangkan pada variasi 4% ASK + 4% SCK sebesar 2.14% meningkat 62.12%. Penambahan kedua bahan aditif ini mampu memperbaiki nilai CBR tanah asli, hal ini disebabkan oleh sifat pozzolan/semen dari SCK (Hastuty & Rahman, 2021) dan pada variasi sampel TA + 4% SCK dan TA + 4% ASK + 4% SCK menunjukkan peningkatan yang signifikan diantara variasi yang lain meskipun belum mencapai standar syarat *subgrade* jalan (tidak kurang dari 6%) (Patel & Mishra, 2017).

Menurut Pane (2020) meningkatnya nilai CBR dikarenakan dalam cangkang kerang memiliki kalsium oksida (CaO). Jika senyawa ini direaksikan dengan air akan menghasilkan larutan kapur atau kalsium hidroksida atau Ca(OH)_2 . Tanah yang distabilisasi dengan serbuk cangkang kerang dan abu serbuk kayu menunjukkan adanya peningkatan nilai CBR namun belum mencapai nilai CBR yang dipersyaratkan sebagai tanah dasar. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut dengan kadar variasi yang lebih besar.



Gambar 5. Nilai CBR tanah stabilisasi

4. KESIMPULAN

Penambahan abu serbuk kayu dan cangkang kerang dapat menurunkan indeks plastisitas tetapi juga meningkatkan nilai CBR. Variasi tanah dengan 4% serbuk cangkang kerang ini memiliki nilai CBR sebesar 2.47% artinya mengalami perbaikan nilai CBR sebesar 84.32% dari CBR tanah asli namun masih belum mencapai standar CBR tanah sebagai *subgrade* jalan, maka dari itu perlu penelitian lanjutan menggunakan campuran dengan kadar serbuk cangkang kerang yang lebih besar untuk mendapatkan hasil CBR yang dipersyaratkan untuk tanah dasar pada konstruksi jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, M., Saputra, P. E., & Yanti, G. (2023). Stabilisasi tanah lempung menggunakan serbuk cangkang kerang ditinjau dari nilai CBR. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 47–56. <https://doi.org/10.33369/ijts.15.1.47-56>
- Aziudin, H. I., & Andajani, N. (2019). Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Untuk Meningkatkan Stabilitas Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal. *Rekayasa Teknik Sipil*, 7(3), 1–9.
- Barnas, E., & Karopeboka, B. (2018). Penelitian Kekuatan Tanah Metode CBR (California Bearing Ratio) di SPBG Bogor 1 Bubulak Jl KH R Abdullah bin Nuh. *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 1(2), 91–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v9i0.326>
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah 1, Edisi Keenam*. Gajah Mada University Press.
- Hastuty, I. P., & Rahman, A. (2021). Effect of using clamshell ash as stabilization material for clay. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012018>
- Herman, & E., S. (2017). Pengaruh Waktu Pemeraman terhadap Nilai CBR Tanah Lempung Yang Distabilisasi dengan Abu Serbuk Kayu. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 4(1), 21–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.21063/jts.2017.V401.021-28>
- Hermansyah, & Zebua, F. (2019). Pengaruh Penambahan Nilai CBR Tanah Dengan Penambahan Limbah Kerang.

Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu Universitas Asahan.

- Iskandar, F. K. (2020). *Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Kerang dan Fly Ash Sebagai Bahan Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau dari Nilai California Bearing Ratio (CBR) dan Unconfined Compression Test (UCT)* [Universitas Sumatera Utara]. <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/27877>
- Jumikis, A. R. (1983). *Mekanika Batuan*. Trans tech Publications Germany.
- Kustantrika, I. W. (2017). Stabilisasi Tanah Rawa Menggunakan Limbah Gergaji Kayu dan Serbuk Limbah Botol Kaca terhadap Peningkatan Nilai CBR. *Jurnal Forum Mekanika*, 6(1), 28–32. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.33322/forummekanika.v6i1.621>
- Pane, F. T. (2020). *Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Kerang dan Bottom Ash Sebagai Bahan Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau dari Nilai California Bearing Ratio (CBR) dan Unconfined Compression Test (UCT)*. Universitas Sumatera Utara.
- Patel, A., & Mishra, C. B. (2017). Performance of Seashell Powder on Sub-grade Soil Stabilization. *ICRISET2017. International Conference on Research and Innovations in Science, Engineering & Technology*, 150–156.
- Prakoso, A., & Asyifa, A. (2021). *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan 8% Limbah Marmer Dan 11%, 13%, 15% Limbah Cangkang Kerang*. University of Technology Yogyakarta.
- Saini, N., & Garg, P. (2018). Study on Stabilization of Clayey Soil Using Fly Ash and Sea Shell Powder. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, 6(1), 157–164. <http://www.researchpublish.com/>
- Salim, A., & Rahmawati, C. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Tiram Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 5(1), 10–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.30601/jtsu.v5i1.1078>
- Supardin, S. (2021). Analisis Parameter Geser Tanah Lempung Hasil Stabilisasi Dengan Abu Serbuk Kayu. *Jurnal Teknologi*, 21(2), 59. <https://doi.org/10.30811/teknologi.v21i2.2429>
- Waldi, A., & Kusuma, D. (2004). *Stabilisasi Tanah Lempung Sokka dengan Campuran Serbuk Kulit Kerang*. Universitas Islam Indonesia.
- Yulianti, P., Gandi, S., & Hendri, O. (2021). Pengaruh Penggunaan Fly Ash Abu Serbuk Kayu Dan Kapur Terhadap Kuat Geser Dan Daya Dukung Tanah Lempung. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(1), 274–285. <https://doi.org/10.31602/jk.v4i1.5275>