



PENGARUH PENAMBAHAN ABU TERBANG DAN SERBUK CANGKANG KERANG TERHADAP KARAKTERISTIK TANAH LEMPUNG

Najla Adinda, Dyah Pratiwi Kusumastuti*

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan,
Institut Teknologi PLN

*Corresponding Author, Email : dyah.pratiwi@itpln.ac.id

ABSTRAK

Tanah memiliki peranan penting pada konstruksi jalan, karena berfungsi sebagai fondasi, Namun tidak semua jenis tanah memiliki persyaratan geoteknik, salah satunya adalah tanah lempung lunak. Tanah lempung lunak dapat menjadi bagian dari konstruksi jalan setelah mengalami proses perbaikan atau stabilisasi. Stabilisasi kimia dengan semen atau kapur telah diterapkan pada konstruksi jalan, namun penggunaannya yang berlebihan mengakibatkan dampak lingkungan seperti peningkatan emisi karbon. Bahan stabilizer lain dikembangkan seperti penggunaan serbuk cangkang kerang yang dikombinasikan abu terbang pada penelitian ini. Penggunaan 10% serbuk cangkang kerang dan variasi abu terbang mulai dari 5%, 10%, 15%, 20% pada tanah lempung lunak akan diteliti terhadap perubahan karakteristiknya. Karakteristik yang ditinjau meliputi kadar air, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, kuat tekan dan kuat geser undrained. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh perubahan yang signifikan yaitu penurunan pada nilai kadar air, batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas tanah lempung seiring dengan penambahan serbuk cangkang kerang dan abu terbang. Namun pada nilai kuat tekan dan kuat geser undrainednya mengalami peningkatan dan didapatkan nilai optimum pada penambahan 10% serbuk cangkang kerang dan 15% abu terbang, dimana peningkatan mencapai 200% dari kondisi tanah lempung asli.

Kata Kunci : Tanah Lempung Lunak; Stabilisasi, Abu Terbang, Serbuk Cangkang Kerang, Karakteristik.

ABSTRACT

Soil is the base of road construction and it is important. However, not all soils have the required geotechnical properties, e.g. soft clay. Soft clay can be used in road construction only after it has been improved or stabilized. Cement or lime stabilization is frequently used in the construction of roads, but over-exploitation can lead to negative environmental impacts such as increased carbon emissions. Alternative stabilizing materials were therefore developed such as the use of seashell powder with fly ash as studied in this paper. This study investigated the effect of addition of 10% of seashell powder with different ratios of fly ash (5%, 10%, 15% and 20%) on soft clay and the changes of its properties. The parameters assessed include water content, liquid limit, plastic limit, plasticity index, compressive strength, and undrained shear strength. The results showed that addition of seashell powder fly ash resulted in significant improvements such as reduction in water content, liquid limit, plastic limit and plasticity index. At the same time, the compressive strength and undrained shear strength are greatly improved. The best condition was obtained by adding 10% of seashell powder and 15% of fly ash which improved the original soft clay up to 200%.

Keywords : Soft Clay; Stabilization; Fly Ash, Seashell Powder, Characteristic

PENDAHULUAN

Pada pekerjaan konstruksi jalan, tanah memiliki peranan penting sebagai fondasi atau tanah dasar (*subgrade*) maupun *subbase*. Sebagai tanah dasar, maka jenis tanah dan parameter geotekniknya menjadi aspek penting yang perlu dipertimbangkan (Arshad et al., 2018). Parameter geoteknik yang menjadi penentuan dalam perancangan perkerasan jalan

mencakup kekuatan tanah dasar, kepadatan, jumlah butiran halus, serta kinerja pemadatan (Nik Daud et al., 2019) (Quadri et al., 2012). Namun, permasalahan tanah dasar pada pekerjaan konstruksi jalan seringkali masih ditemui karena banyaknya proyek konstruksi jalan yang berada di atas lapisan tanah lunak.

Tanah lunak umumnya berupa tanah berbutir halus seperti lempung, lanau, gambut dan lumpur dengan karakteristik permeabilitas rendah, porositas besar, kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan kuat geser serta daya dukung yang rendah (Peng & Dingyu, 2022) (Rosli et al., 2020). Untuk memperbaiki karakteristiknya, berbagai upaya metode perbaikan secara umum dapat dikelompokkan dalam 3 kategori yaitu stabilisasi mekanis, biologis dan kimia (Verma et al., 2021). Stabilisasi mekanis dapat dilakukan dengan pemadatan, penggantian material tanah, penggunaan geogrid, geotekstil, geomembran dan lainnya (Fondjo et al., 2021). Stabilisasi biologis merupakan pengaplikasian metode mikrobiologis untuk tujuan rekayasa seperti metode *bio-clogging* dan *bio-cementation* (Khalegi & Rowshanzamir, 2019). Sedangkan stabilisasi kimiawi merupakan perbaikan tanah dengan penambahan bahan aditif seperti kapur, semen, abu terbang, dan abu tandan sawit yang tujuannya mengubah karakteristik fisik dan mekanik tanah lunak (Anburuvel, 2024; Anggraini et al., 2025).

Pada proyek konstruksi penerapan perbaikan tanah lunak yang digunakan adalah stabilisasi mekanis dan kimiawi. Namun, stabilisasi mekanis memiliki kekurangan seperti suara bising dan getaran pada saat pengoperasian alat, peralatan mekanis yang membutuhkan persyaratan luasan serta kemiringan lokasi proyek (Hou et al., 2021). Sedangkan pada stabilisasi kimiawi menyebabkan ikatan antar partikel tanah sehingga perubahan karakteristik geoteknik lebih kompleks (Tan et al., 2020), dapat mengurangi biaya konstruksi, dan peralatan konstruksi yang digunakan lebih sederhana (Razali & Che Malek, 2019).

Bahan stabilizer pada stabilisasi kimiawi yang banyak diterapkan di proyek konstruksi jalan adalah semen dan kapur (Razali & Che Malek, 2019). Semen dan kapur yang menjadi komponen utama bahan stabilizer konstruksi jalan menyebabkan permintaan produksi semen dan penambangan batu kapur dapat memperburuk emisi karbon dan kerusakan lingkungan alam (Huber et al., 2016; Marzouk et al., 2017). Untuk mengatasi hal tersebut, berbagai penelitian yang telah dilakukan dengan penggunaan bahan stabilizer yang ramah lingkungan seperti penggunaan limbah konstruksi (Bamigboye et al., 2021), abu sekam dan serbuk kaca (Kusumastuti et al., 2024; Kusumastuti & Sepriyanna, 2019), arang cangkang sawit (Kusumastuti et al., 2022), abu terbang (Renjith et al., 2021), serbuk cangkang kerang (Kusumastuti et al., 2025) dan lainnya. Selain itu, penelitian Rustam et al. (2019) dan Purwanto et al. (2020) menunjukkan bahwa limbah gypsum plafond dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung lunak. Hasil uji kuat geser maupun CBR memperlihatkan peningkatan signifikan pada daya dukung tanah, sehingga limbah gypsum plafond berpotensi menjadi alternatif stabilizer berkelanjutan.

Penggunaan limbah abu terbang sebagai pengganti semen dalam stabilisasi tanah lunak dapat menjadi solusi untuk mengurangi emisi karbon yang disebabkan oleh produksi semen (Turan et al., 2022). Tanah yang distabilisasi dengan abu terbang dapat digunakan sebagai material yang efektif karena perbaikannya mengalami perbaikan seperti mengurangi indeks plastisitas, potensi kembang susut (Turan et al., 2019), meningkatkan kepadatan maksimum,

kuat geser, kuat tekan dan *california bearing ratio* (Dharsini et al., 2020; Karim et al., 2020; Shaunik & Gupta, 2020).

Pemilihan serbuk cangkang kerang sebagai bahan stabilisasi tanah lunak, karena memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi (B. R. et al., 2020; Yang et al., 2025). Kandungan kalsium yang terdapat pada cangkang kerang ini dapat menjadi bahan stabilizer alternatif berkelanjutan, sehingga mengurangi kekhawatiran kerusakan lingkungan (Md Nujid et al., 2022; Summa et al., 2022). Penambahan serbuk cangkang kerang pada tanah lunak menurunkan nilai indeks plastisitas dan meningkatkan *california bearing ratio* (Walilo et al., 2024), meningkatkan nilai kuat geser (Ardi et al., 2023; Kusumastuti et al., 2023), serta meningkatkan kuat tekannya (Aziudin, 2019; Kusumastuti et al., 2025).

Namun penelitian dengan menggunakan kombinasi abu terbang dan serbuk cangkang kerang sebagai bahan stabilizer tanah lunak masih jarang dilakukan. Abu terbang kelas F yang umumnya dapat diperoleh sebagai sisa pembakaran batu bara di PLTU memiliki kandungan kalsium kurang dari 5% tanpa sifat pengikat sendiri (Diana et al., 2023). Aktivitas pozzolan pada abu terbang sangat bergantung pada komposisi CaO , SiO_2 dan Al_2O_3 , abu terbang dengan kandungan CaO yang tinggi akan membentuk ikatan sementisius sendiri (Marinkovic & Dragas, 2018). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah lunak dengan menambahkan abu terbang dan serbuk cangkang kerang yang ditinjau dari nilai plastisitas dan kuat tekannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, FTIK, Institut Teknologi PLN. Secara umum, penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap yaitu tahap persiapan, tahap pengujian, dan tahap analisis. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap persiapan diantaranya menyiapkan peralatan dan bahan, serta pembuatan benda uji. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari contoh tanah lempung lunak terganggu yang diambil pada kedalaman 2-3 meter, abu terbang kelas F dari PLTU Adipala Cilacap (Gambar 1), dan serbuk cangkang kerang darah dari industri rumahan pengolahan kerang (Gambar 2). Setelah seluruh bahan tersedia, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji yaitu mencampur contoh tanah dengan abu terbang (AT) dan serbuk cangkang kerang (SCK) dengan variasi komposisi penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% abu terbang (AT) serta 10% serbuk cangkang kerang (SCK).



Gambar 1. Abu Terbang Kelas F dari PLTU Adipala Cilacap



Gambar 2. Serbuk Cangkang Kerang Darah

Setelah membuat campuran benda uji, dilanjutkan dengan menyiapkan kebutuhan benda uji sesuai dengan setiap pengujian yang dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik fisik dengan uji kadar air, dan pengujian karakteristik mekanik dengan uji batas cair, uji batas plastis, dan uji kuat tekan bebas. Kebutuhan benda uji pada setiap pengujian sebanyak 3 benda uji, kecuali pada uji batas cair yaitu 4 benda uji. Jumlah kebutuhan benda uji pada penelitian tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah benda uji penelitian

No.	Jenis Uji	Tanah Asli (TA), (S0)	TA + 10% SCK, (S1)	Variasi Benda Uji			
				TA + 10% SCK + 5% AT, (S2)	TA + 10% SCK + 10% AT, (S3)	TA + 10% SCK + 15% AT, (S4)	TA + 10% SCK + 20% AT, (S5)
1	Kadar air	3	3	3	3	3	3
2	Batas cair	4	4	4	4	4	4
3	Batas plastis	3	3	3	3	3	3
4	Kuat tekan bebas	3	3	3	3	3	3

Selanjutnya dilakukan tahap pengujian, pengujian-pengujian yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu:

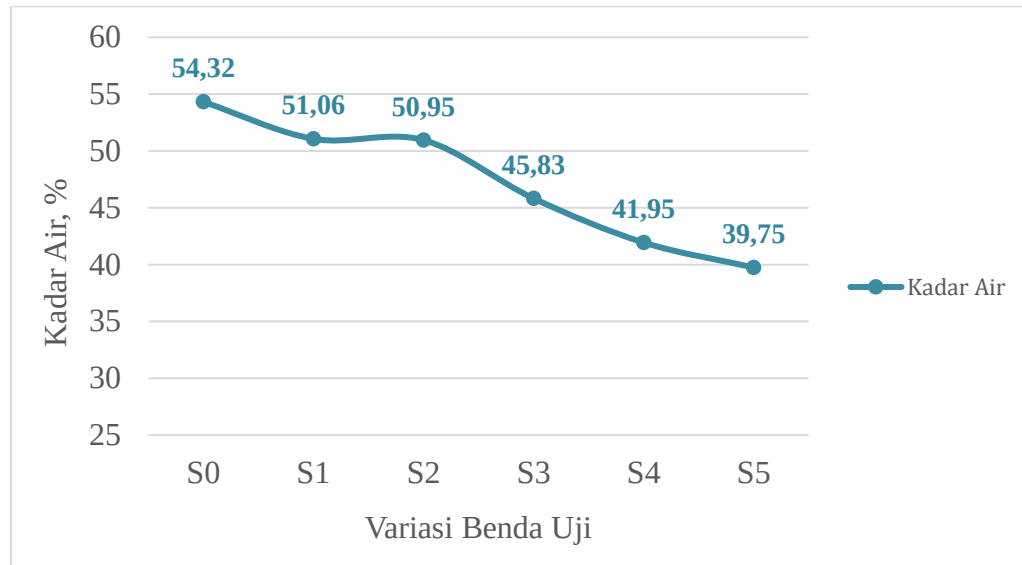
1. SNI 1965:2019 Tentang Metode Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah Dan Batuan Di Laboratorium, 2019
2. SNI 1967 :2008 Tentang Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah, 2008
3. SNI 1966:2008 Tentang Cara Uji Penentuan Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas Tanah, 2008
4. SNI 3638:2012 Tentang Metode Uji Kuat Tekan-Bebas Tanah Kohesif, 2012

Tahap akhir pada penelitian yaitu tahap analisis dilakukan setelah seluruh proses pengujian pada setiap benda uji selesai. Sesuai dengan jumlah benda uji pada setiap pengujian yaitu uji kadar air, uji batas plastis dan uji kuat tekan bebas maka nilai dari setiap parameter yang diperoleh merupakan nilai rata-rata, sedangkan untuk uji batas cair parameter yang diperoleh berdasarkan grafik hubungan kadar air dengan jumlah ketukan yang selanjutnya didapatkan persamaan linier. Nilai kadar batas cair akan ditentukan pada ketukan ke-25 sehingga dengan menggunakan persamaan linier atau *plotting* pada grafik nilainya dapat ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kadar Air

Kadar air merupakan nilai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat tanah yang dinyatakan dalam persentase (Das & Sobhan, 2014). Pada penelitian ini nilai kadar air diperoleh dari hasil pengujian pada tanah asli dan tanah yang telah mendapatkan perlakuan yaitu penambahan abu terbang dan serbuk cangkang kerang. Hasil uji kadar air disajikan pada Gambar 3 berturut dari tanah asli sampai dengan tanah dengan penambahan 10% serbuk cangkang kerang dan 20% abu terbang.

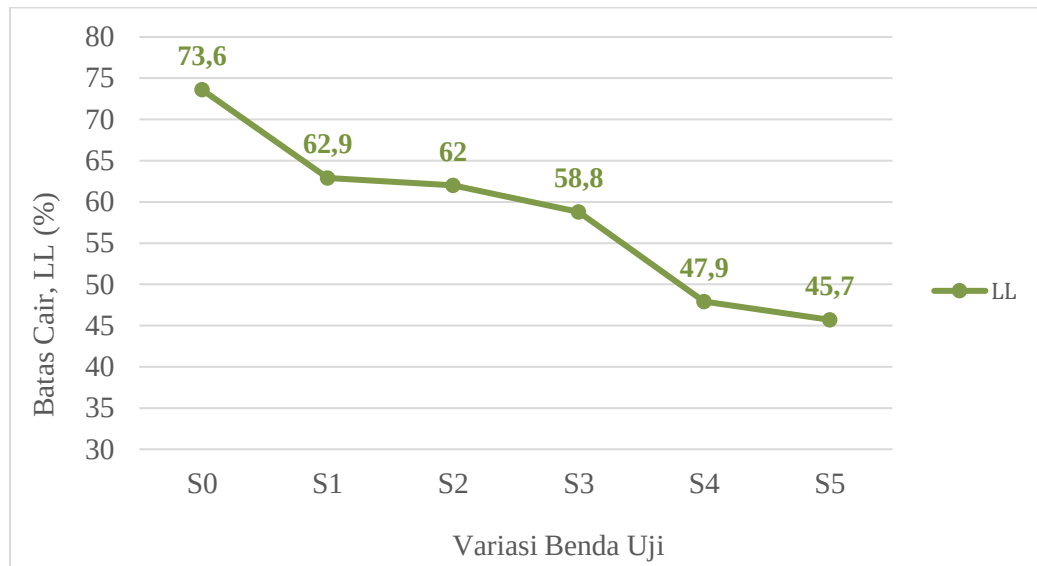


Gambar 3. Perubahan Nilai Kadar Air Tanah Lempung Lunak Terstabilisasi

Berdasarkan hasil pengujian kadar air bahwa seiring dengan penambahan abu terbang, kadar air pada contoh tanah lempung semakin berkurang. Hal ini dapat disebabkan ukuran partikel abu terbang yang sangat halus sehingga mengisi ruang pori antara partikel-partikel tanah atau air yang tadinya mengisi ruang pori tergantikan oleh partikel abu terbang. Penurunan kadar air terbesar tanah lempung terdapat pada variasi dengan penambahan 10% SCK dan 20% AT atau pada benda uji S5 sebesar 26,82% dibandingkan dengan kadar air tanah asli.

Uji Batas Cair

Batas cair merupakan salah satu dari batas konsistensi dari tanah berbutir halus yang berkaitan dengan jumlah air (Kollaros, 2016). Batas cair sendiri dapat didefinisikan sebagai batas perubahan perilaku tanah lempung dari kondisi cair ke plastis secara bertahap dengan menggunakan cawan perkusi pada ketukan ke-25 yang telah distandarisasi oleh Casagrande (Haigh & Vardanega, 2014). Pengujian batas cair pada penelitian ini dilakukan pada 4 (empat) benda uji, untuk kemudian digambarkan grafik hubungan jumlah pukulan dengan kadar air sehingga diperoleh persamaan linier dengan nilai variabel yang digunakan dalam perhitungan adalah 25. Hasil pengujian batas cair pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4 berikut.



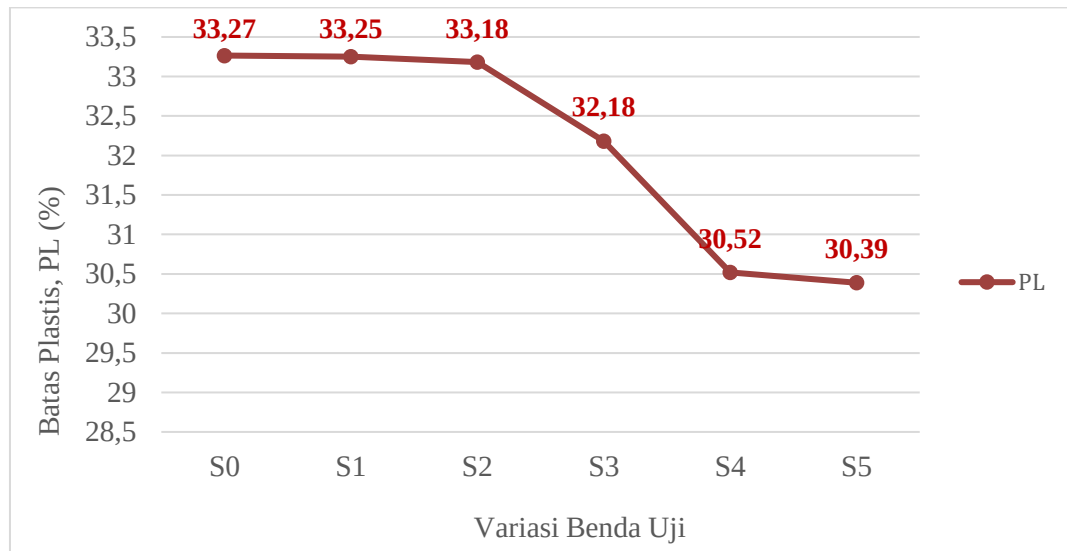
Gambar 4. Hasil Pengujian Batas Cair Pada Tanah Lempung Terstabilisasi

Berdasarkan hasil pengujian batas cair yang ditunjukkan pada Gambar 4, seiring dengan adanya penambahan SCK dan AT maka nilai batas cair semakin menurun. Hal ini juga seiring dengan hasil yang diperoleh pada pengujian kadar air. Nilai batas cair menurun signifikan sampai dengan penambahan 15% abu terbang, namun pada penambahan 20% abu terbang penurunannya hanya sedikit. Abu terbang yang sangat halus dan bersifat *inert* sehingga tidak berkontribusi besar terhadap nilai batas cair (Sridharan, 2013). Diaman penurunan nilai batas cair pada benda uji S4 terhadap S5 hanya sebesar 4,59%.

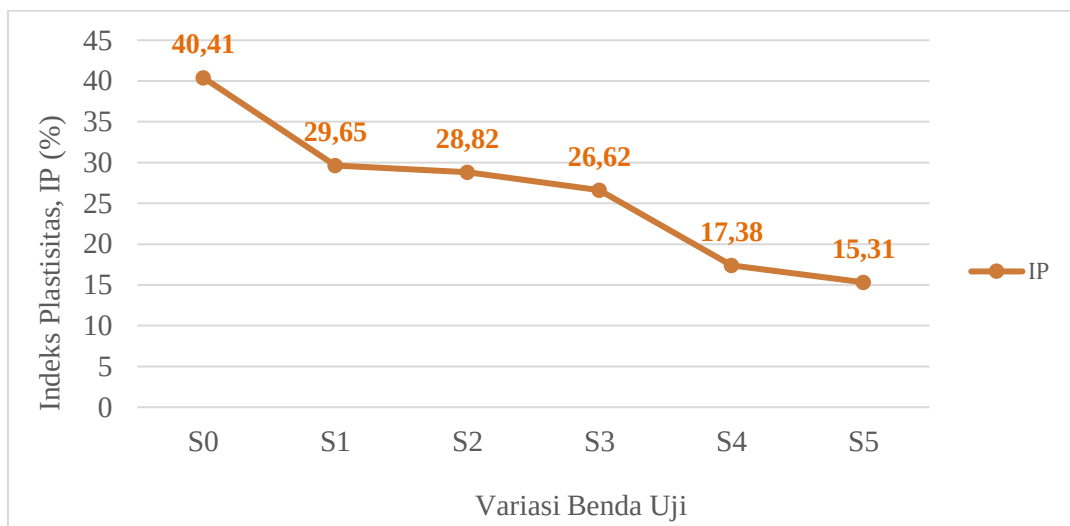
Uji Batas Plastis dan Indeks Plastisitas

Batas plastis merupakan salah satu sifat tanah yang disebabkan perubahan kadar air sehingga tanah berubah dari kondisi semi padat ke plastis (Stanchi et al., 2015). Batas plastis dinyatakan dalam persentase, dimana tanah akan mengalami retak atau hancur setelah dipilin sampai diameter 3 – 3,2 mm (Kassim et al., 2008). Batas plastis dan batas cair merupakan dua parameter yang digunakan untuk menentukan indeks plastisitas (IP), dimana indeks plastisitas ini banyak digunakan dalam korelasi menentukan sudut geser dalam, *overconsolidated ratio*, koefisien tekanan tanah lateral, kekuatan geser tak terdrainase dan lainnya (Kayabali, 2012).

Berbeda dengan pengujian batas cair, pada penelitian ini pengujian batas plastis dilakukan pada 3 benda uji. Setelah didapatkan nilai batas plastis dan batas cair, maka nilai indeks plastisitas dari benda uji dapat ditentukan. Hasil pengujian batas plastis dan nilai indeks plastisitas disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut.



Gambar 5. Hasil Pengujian Batas Plastis Pada Tanah Lempung Terstabilisasi



Gambar 6. Perubahan Indeks Plastisitas Pada Tanah Lempung Terstabilisasi

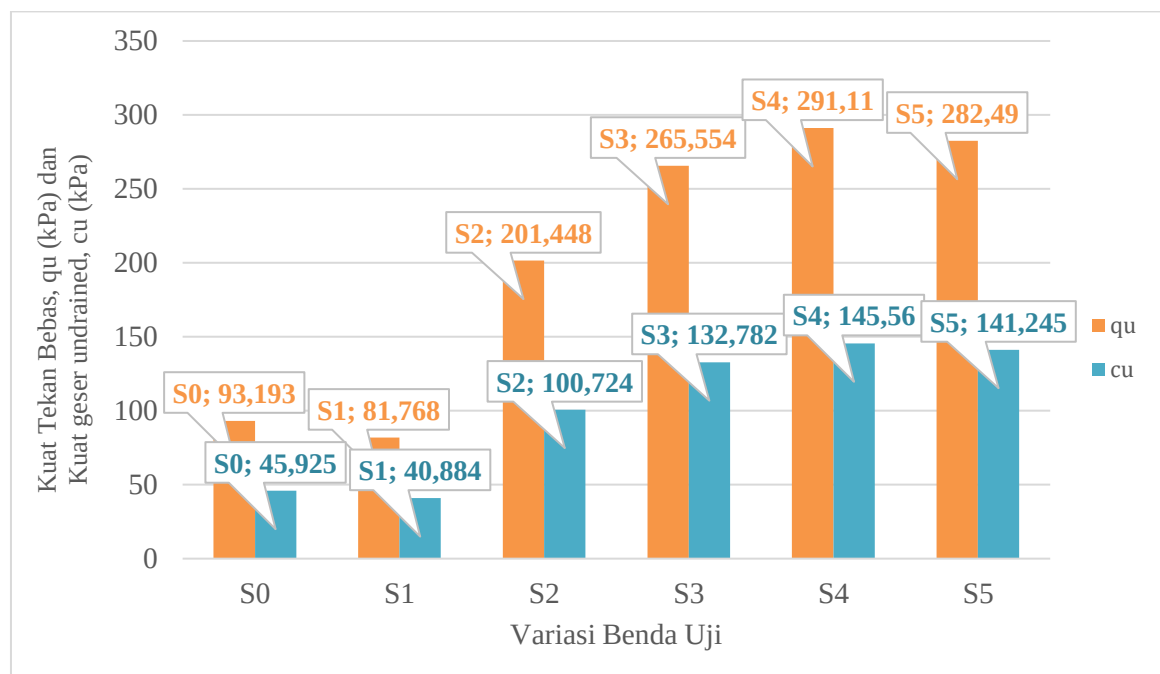
Untuk hasil pengujian batas plastis pada penelitian ini berbeda dengan hasil pengujian batas plastis yang menggunakan abu terbang pada penelitian-penelitian lainnya, dimana pada penelitian lainnya, nilai batas plastis akan mengalami peningkatan seiring dengan penambahan abu terbang. Pada penelitian ini, nilai batas plastis mengalami penurunan seiring dengan penambahan abu terbang. Penurunan batas plastis ini bukan disebabkan karena penambahan abu terbang, tetapi adanya penambahan serbuk cangkang kerang (SCK) sebesar 10% pada setiap variasi. Hal tersebut dapat terlihat dimana perubahan atau penurunan nilai batas plastis antar variasi cenderung rendah. Penambahan SCK ini menyebabkan kemampuan menahan air pada tanah lempung menjadi berkurang (Md Nujid et al., 2022).

Nilai indeks plastisitas pada penelitian ini mengalami penurunan seiring dengan penambahan AT, bahkan dengan adanya penambahan AT pada benda uji nilai indeks plastisitasnya menurun sampai dengan di atas 50% dibandingkan tanah asli. Menurut (Seyrek, 2018), terdapat dua alasan perubahan batas konsistensi (LL, PL, IP) akibat

penambahan abu terbang yaitu abu terbang memiliki ukuran partikel seperti lanau sehingga fraksi tanah lempung berkurang ketika penambahan abu terbang, partikel abu terbang menyebabkan struktur flokulasi pada tanah lempung dan mengurangi ketebalan lapisan ganda difusinya (Seyrek, 2018).

Uji Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas merupakan salah satu parameter geoteknik yang banyak digunakan dalam perancangan proyek geoteknik (Singh, 2018) karena metode pengujiannya yang mudah, sederhana, dan cepat. Selain itu, melalui hasil pengujian kuat tekan bebas perilaku deformasi dan kekuatan dari tanah dapat dipahami dan dievaluasi (Turan et al., 2022). Uji kuat tekan bebas dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 76 mm dan diameter 38 mm. Pada penelitian ini, uji kuat tekan bebas pada setiap variasi dilakukan pada 3 benda uji yang berbeda untuk kemudian nilai yang didapatkan akan dirata-rata. Hasil pengujian kuat tekan bebas disajikan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Perubahan Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u) dan Kuat Geser Undrained (c_u) Pada Tanah Lempung Terstabilisasi

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan bebas terlihat adanya peningkatan nilai kuat tekan dan kuat geser *undrained* terutama karena adanya penambahan AT. Namun hasil pengujian menunjukkan kondisi optimum penambahan yaitu pada benda uji S4 dimana terdapat penambahan 10% SCK dan 15% AT. Peningkatan nilai kuat tekan dan kuat geser *undrained* mencapai 212,37% atau setara 2,5x kuat tekan dan kuat geser *undrained* tanah asli. Hal ini disebabkan sifat pozzolanik dan pengikatan dari abu terbang (Seyrek, 2018) sehingga benda uji tanah lempung menjadi lebih kaku.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tanah lempung terstabilisasi serbuk cangkang kerang (SCK) dan abu terbang (AT), bahwa karakteristik tanah lempung mengalami perubahan yang signifikan. Perubahan karakteristik tersebut dapat dilihat pada nilai kadar air, batas cair, batas plastis dan indeks plastisitasnya mengalami penurunan seiring dengan penambahan AT. Sedangkan pada nilai kuat tekan dan kuat geser *undrained* tanah lempung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan AT dan didapatkan kondisi optimum pada benda uji variasi S4 yaitu dengan penambahan 10 SCK dan 15% AT. Peningkatan kuat tekan dan kuat geser *undrained* mencapai 200% dari kondisi tanah asli, hal ini bisa menjadi bahan pertimbangan pemanfaatan SCK dan AT sebagai bahan stabilizer tanah lempung lunak. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan berbagai kondisi tanah terstabilisasi seperti kondisi pembasahan dan kondisi pengeringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anburuvel, A. (2024). *The Engineering Behind Soil Stabilization with Additives : A State - of - the - Art Review*. In Geotechnical and Geological Engineering (Vol. 42, Issue 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02554-x>
- Anggraini, M., Setiawan, D. M., & Saleh, A. (2025). *Chemical stabilization techniques for clay soil: A comprehensive review*. Journal of the Mechanical Behavior of Materials, 34(1). <https://doi.org/10.1515/jmbm-2025-0056>
- Ardi, I., Yanti, G., & Anggraini, M. (2023). *Stabilitas Tanah Lempung Dengan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Nilai Kuat Geser*. PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.5519.1-7>
- Arshad, A. K., Shaffie, E., Ismail, F., Hashim, W., Abd. Rahman, Z., & Ismail, Y. (2018). *Cement Stabilised Soil Subgrade: Design and Construction*. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(7), 1192–1200.
- Aziudin, H. I. (2019). *Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang untuk Meningkatkan Stabilitas Lempung Ekspansif Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal*. Jurnal Universitas Negeri Surabaya, 2(1), 1–9.
- B. R., V., R., S., Raghavendra, A. B., M., R., & S., P. (2020). *Stabilization on Expansive soil using sea shell powder and Rubber powder*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/814/1/012028>
- Bamigboye, G. O., Bassey, D. E., Olukanni, D. O., Ngene, B. U., Adegoke, D., Odetoyan, A. O., Kareem, M. A., Enabulele, D. O., & Nworgu, A. T. (2021). *Waste materials in highway applications : An overview on generation and utilization implications on sustainability*. Journal of Cleaner Production, 283, 124581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124581>
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering (8th ed.)*. Cengage Learning. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>

- Dharsini, M. K., Akalya, K., Ragul, P. S., Sathyaseelan, K., Narayanan, N., & Kumar, D. S. (2020). *Enhancement of soil properties using bottom ash , fly ash and coconut ash - An application of waste to wealth*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012090>
- Diana, W., Hartono, E., Pratama, W. E., & Wardani, W. I. (2023). *Shear strength characteristic of geopolymer fly ash and egg shell powder stabilized clay soil*. 04024.
- Fondjo, A. A., Theron, E., & Ray, R. P. (2021). *Stabilization of Expansive Soils Using Mechanical and Chemical Methods: A Comprehensive Review*. Civil Engineering and Architecture, 9(5), 1289–1294. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090503>
- Haigh, S. K., & Vardanega, P. J. (2014). *Applied Clay Science Fundamental basis of single-point liquid limit measurement approaches*. Applied Clay Science, 102, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.10.011>
- Hou, Y., Li, P., & Wang, J. (2021). *Review of chemical stabilizing agents for improving the physical and mechanical properties of loess*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 9201–9215. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02486-x>
- Huber, M., Welker, A., & Helmreich, B. (2016). *Science of the Total Environment Critical review of heavy metal pollution of traf fi c area runoff: Occurrence , in fl uencing factors , and partitioning*. Science of the Total Environment, 541, 895–919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.033>
- Karim, M. A., Hassan, A. S., & Kaplan, A. (2020). *Applied sciences Optimization of Soil to Fly-Ash Mix Ratio for Enhanced Engineering Properties of Clayey Sand for Subgrade Use*. Applied Sciences (Switzerland), 10(20).
- Kassim, K. A., Rashid, A. S. A., Katimon, A., & Md Noor, N. (2008). *Determination of Plastic Limit of Soil Using Modified Methods*. Malaysian Journal of Civil Engineering, 20(2), 295–305.
- Kayabali, K. (2012). *Estimation of Liquid , Plastic and Shrinkage Limits Using One Simple Tool*. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 17, 2079–2090.
- Khalegi, M., & Rowshanzamir, M. A. (2019). *Biologic improvement of a sandy soil using single and mixed cultures: A comparison study*. Soil and Tillage Research, 186.
- Kollaros, G. (2016). *Liquid Limit Values Obtained bt Defferent Testing Methods*. Procceding of The 14th International Congress of The Geological Society of Greece, 50(2), 778–787.
- Kusumastuti, D. P., Priastiwi, Y. A., Sarminingsih, A., Studi, P., Profesi, P., Fakultas, I., Universitas, T., Barat, J., Teknik, D., Fakultas, S., Universitas, T., Teknik, D., Fakultas, L., & Universitas, T. (2025). *Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Lunak Pesisir*. Media Komunikasi Teknik Sipil, 31(2), 234–242. <https://doi.org/10.14710/mkts.v31i2.71174>

- Kusumastuti, D. P., Sajiharjo, & Pantouw, J. P. (2024). *The effect of glass powder and husk ash on the permeability of clay soil*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1416/1/012013>
- Kusumastuti, D. P., & Sepriyanna, I. (2019). *Soft Soil Stabilization With Rice Husk Ash and Glass Powder Based on Physical Characteristics Soft Soil Stabilization With Rice Husk Ash and Glass Powder Based on Physical Characteristics*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/650/1/012025>
- Kusumastuti, D. P., Sepriyanna, I., & Nur Chairat, A. S. (2022). *Pengaruh penambahan serbuk arang cangkang sawit terhadap kuat geser langsung pada tanah lempung*. *Konstruksia*, 14(1), 33–39. <https://doi.org/10.24853/jk.14.1.33-39>
- Kusumastuti, D. P., Wicaksono, B., & Nur Chairat, A. S. (2023). *Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung Lunak*. *SNEKTI ITPLN* 2023, 4, 4865.
- Marinkovic, S., & Dragas, J. (2018). *Fly Ash*. In *Waste and Supplementary Cementitious Material in Concrete*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00011-0>
- Marzouk, M., Abdelkader, E. M., & El-zayat, M. (2017). *Assessing Environmental Impact Indicators in Road Construction Projects in Developing Countries*. *Sustainability* (Switzerland), 9(5). <https://doi.org/10.3390/su9050843>
- Md Nujid, M., Tholibon, D. A., & Kushairi Rahman, M. H. (2022). *Effect of cockle shell powder as sustainable additive on geotechnical engineering properties of stabilized soil*. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(14). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10593-6>
- Nik Daud, N. N., Jalil, F. N. A., Celik, S., & Albayrak, Z. N. K. (2019). *The Important Aspects of Subgrade Stabilization for Road Construction*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012005>
- Peng, Z., & Dingyu, M. (2022). *Analysis of Soft Soil Subgrade Treatment Technology in Road Construction*. *International Journal of Frontiers in Engineering Technology*, 4(3), 16–21. <https://doi.org/10.25236/IJFET.2022.040303>
- Purwanto, H., Setiobudi, A., & Rustam, R. K. (2020). *Stabilization of soft clay soil using a gypsum plafond waste based on CBR testing*. *Int. J. Sci. Technol. Res*, 9(2), 963–968.
- Quadri, H. A., Adeyemi, O. A., & Olafusi, O. S. (2012). *Investigation of the Geotechnical Engineering Properties of Laterite as a Subgrade and Base Material for Road Constructions in Nigeria*. 2(8), 23–32.
- Razali, R., & Che Malek, M. S. (2019). *The usage of cement for soil stabilisation in construction of low volume roads in Malaysia The usage of cement for soil stabilisation in construction of low volume roads in Malaysia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012006>

- Renjith, R., Robert, D., Setunge, S., Costa, S., & Mohajerani, A. (2021). *Optimization of fly ash based soil stabilization using secondary admixtures for sustainable road construction*. Journal of Cleaner Production, 294, 126264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126264>
- Rosli, N., Saad, R., Rahman, N., & Ismail, N. A. (2020). *Soft soils : A study on their electrical resistivity values and geotechnical properties (porosity , SPT and particle size distribution)*. 46(3), 186–190.
- Rustam, R. K., Resti, A., Purwanto, H., & Muhammad, F. (2019, September). *The effect of gypsum plafond waste on shear strength of soft clay soil*. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 620, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/620/1/012039>
- Seyrek, E. (2018). *Engineering behavior of clay soils stabilized with class C and class F fly ashes*. Sci Eng Compos Mater, 25(2), 273–287. <https://doi.org/10.1515/secm-2016-0084>
- Shaunik, D., & Gupta, S. S. (2020). *Modification of Geotechnical Properties of Local Soil Mixed With Fly Ash Fly Ash Utilisation - Indian Context*. Proceeding of Indian Geotechnical Conference, 334–346.
- Singh, L. K. S. T. N. (2018). *Regression - based models for the prediction of unconfined compressive strength of artificially structured soil*. Engineering with Computers, 34(1), 175–186. <https://doi.org/10.1007/s00366-017-0528-8>
- SNI 1965:2019 *Tentang Metode Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah Dan Batuan Di Laboratorium* (2019).
- SNI 1966:2008 *Tentang Cara Uji Penentuan Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas Tanah*, Pub. L. No. 1966, Badan Standardisasi Nasional 1 (2008).
- SNI 1967 :2008 *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, Pub. L. No. 1967, Badan Standardisasi Nasional 25 (2008).
- SNI 3638:2012 *Metode Uji Kuat Tekan-Bebas Tanah Kohesif* (2012). www.bsn.go.id
- Sridharan, B. A. M. A. (2013). *Physical and Compaction Behaviour of Clay Soil – Fly Ash Mixtures*. Geotechnical and Geological Engineering, 31, 1059–1072. <https://doi.org/10.1007/s10706-013-9632-8>
- Stanchi, S., Amico, M. D., Zanini, E., & Freppaz, M. (2015). *Liquid and plastic limits of mountain soils as a function of the soil and horizon type*. Catena, 135, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.021>
- Summa, D., Lanzoni, M., Castaldelli, G., & Fano, E. A. (2022). *Trends and Opportunities of Bivalve Shells ' Waste Valorization in a Prospect of Circular Blue Bioeconomy*. Resources, 11(5), 1–16.
- Tan, E. H., Zahran, E. M. M., & Tan, S. J. (2020). *A review of chemical stabilisation in road construction*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/943/1/012005>

- Turan, C., Javadi, A. A., Vinai, R., & Beig Zali, R. (2022). *Geotechnical Characteristics of Fine-Grained Soils Stabilized with Fly Ash, a Review*. Sustainability (Switzerland), 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142416710>
- Turan, C., Javadi, A., Consoli, N. C. C., Turan, C., Vinai, R., Cuisinier, O., Russo, G., Turan, C., Javadi, A., Consoli, N. C. C., Turan, C., Vinai, R., Cuisinier, O., & Russo, G. (2019). *Mechanical Properties of Calcareous Fly Ash Stabilized Soil*. Eurocoalash.
- Verma, H., Ray, A., Rai, R., Gupta, T., & Mehta, N. (2021). Ground improvement using chemical methods : A review. Heliyon, 7(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07678>
- Walilo, M. I. A., Rochmawati, R., & Sitorus, P. H. (2024). *Stabilisasi tanah untuk perkerasan jalan menggunakan serbuk cangkang kerang*. SemNas Teknik Sipil 3 FT Univ Yapis Papua, 228–235.
- Yang, S., Faxin, W., Yaying, S., Yiwei, L., & Feng, H. (2025). *Effect of Progressive Substitution of Cement and Lime by Powdered Shells Used as a Curing Agent for Dredged Soil in a Port Area*. Journal of Wuhan University of Technology, 40(1), 88–102.



Jurnal Deformasi is licensed under
a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License