

ANALISIS KONSISTENSI TANAH AKIBAT DARI PENAMBAHAN SEMEN DAN ABU SEKAM PADI

Frederik Irsan Delu^{1*}, Oktaviany Batto², Desi Sandy³, Lisa Febriani⁴, Pebrinar Riani Sangle⁵

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Politeknik Amamapare Timika, Jl.C. Hatubun Kwamki Baru.

^{3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Jl. Perintis Kemerdekaan No.Km.13, Daya, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245.

*Corresponding Author

E-mail Address: frederikdelu@gmail.com

ABSTRAK

Konsistensi tanah merupakan salah satu sifat fisik penting dalam rekayasa geoteknik yang dievaluasi melalui batas-batas Atterberg, yaitu batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI). Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh penambahan semen Portland (OPC) dan abu sekam padi (RHA) terhadap konsistensi tanah melalui pengujian batas Atterberg. Sampel tanah diambil dari lokasi Rante Balla dan distabilisasi menggunakan kadar semen tetap sebesar 2% yang dikombinasikan dengan variasi abu sekam padi sebesar 4%, 8%, dan 12% dari berat kering tanah, dengan tanah tanpa perlakuan sebagai kontrol. Pengujian dilakukan mengacu pada standar ASTM D4318 untuk menentukan batas cair, batas plastis, batas susut, dan indeks plastisitas, kemudian hasilnya dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan berdasarkan persentase perubahan relatif terhadap tanah asli. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah asli memiliki batas cair 40,29%, batas plastis 17,41%, dan indeks plastisitas 22,88%. Setelah stabilisasi, batas cair meningkat sedikit hingga 42,20%, sedangkan batas plastis meningkat lebih signifikan hingga 23,80%, sehingga indeks plastisitas menurun menjadi berkisar antara 18,20%–19,92%. Penurunan indeks plastisitas terbesar terjadi pada campuran 2% semen dan 4% abu sekam padi, yaitu sekitar 20,5% dibandingkan tanah asli, sehingga campuran ini merupakan campuran optimal dalam penelitian ini. Hasil ini mengindikasikan bahwa kombinasi semen dan abu sekam padi efektif menurunkan plastisitas tanah dan meningkatkan konsistensinya, sekaligus menawarkan alternatif stabilisasi tanah yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya untuk aplikasi geoteknik dan perkerasan jalan.

Kata Kunci: Konsistensi tanah; stabilisasi tanah; semen; abu sekam padi; indeks plastisitas

ABSTRACT

Soil consistency is one of the most important physical properties in geotechnical engineering, commonly evaluated through the Atterberg limits, namely the liquid limit (LL), plastic limit (PL), and plasticity index (PI). This study aims to investigate the effect of adding ordinary Portland cement (OPC) and rice husk ash (RHA) on soil consistency through Atterberg limit testing. Soil samples were taken from the Rante Balla site and stabilized using a fixed cement content of 2%, combined with varying RHA contents of 4%, 8%, and 12% of the dry soil weight, with untreated soil used as a control. Testing was conducted with reference to the ASTM D4318 standard to determine the liquid limit, plastic limit, shrinkage limit, and plasticity index, and the results were analyzed descriptively and compared based on the relative percentage change from the original soil. The results show that the original soil had a liquid limit of 40.29%, a plastic limit of 17.41%, and a plasticity index of 22.88%. After stabilization, the liquid limit increased slightly to 42.20%, while the plastic limit increased more significantly to 23.80%, resulting in a decrease in plasticity index to a range of 18.20%–19.92%. The largest reduction in plasticity index, approximately 20.5% compared to the original soil, was observed in the mixture of 2% cement and 4% RHA, making it the optimum mixture in this study. These findings indicate that the combination of cement and rice husk ash effectively reduces soil plasticity and improves soil consistency, offering a more environmentally friendly and cost-effective soil stabilization alternative for geotechnical and pavement applications.

Keywords: Soil consistency; soil stabilization; cement; rice husk ash; plasticity index

PENDAHULUAN

Konsistensi tanah merupakan salah satu sifat fisik terpenting dalam rekayasa geoteknik karena

menggambarkan perilaku tanah berbutir halus di bawah kondisi kelembaban yang bervariasi. Konsistensi umumnya dievaluasi menggunakan batas-batas Atterberg, yaitu batas cair (LL), batas

plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI). Parameter-parameter ini menunjukkan kadar air pada saat tanah berubah dari satu keadaan ke keadaan lainnya dan memberikan informasi berharga mengenai plastisitas, kemampuan pengerjaan, kompresibilitas, dan stabilitas volume tanah. Tanah dengan batas cair dan indeks plastisitas yang tinggi umumnya menunjukkan pembengkakan, penyusutan, dan kompresibilitas yang berlebihan, sehingga tidak cocok untuk aplikasi teknik tanpa perbaikan terlebih dahulu (Das & Sobhan, 2018).

Konsistensi tanah sangat memengaruhi kinerja pondasi, timbunan, perkerasan jalan, dan struktur tanah. Tanah dengan plastisitas tinggi sangat sensitif terhadap perubahan kadar air, yang mengakibatkan perubahan volume yang signifikan dan dapat menyebabkan penurunan diferensial, retakan pada perkerasan jalan, serta ketidakstabilan struktur, termasuk pada lereng dan timbunan yang dibangun di atas tanah lunak (Badriyah & Wulandari, 2020; Rahayu dkk., 2015). Oleh karena itu, mengurangi plastisitas tanah dan meningkatkan konsistensinya merupakan tujuan penting dalam stabilisasi tanah. Penurunan indeks plastisitas umumnya menandakan peningkatan perilaku teknik, termasuk kerentanan yang lebih rendah terhadap kadar air, stabilitas dimensi yang lebih baik, serta peningkatan daya dukung (Mitchell & Soga, 2005).

Stabilisasi kimia merupakan salah satu metode paling efektif untuk memodifikasi konsistensi tanah. Di antara bahan-bahan penstabil yang tersedia, semen Portland telah banyak digunakan karena dapat meningkatkan sifat-sifat tanah melalui reaksi hidrasi yang menghasilkan senyawa semen, terutama hidrat silikat kalsium (C-S-H) dan hidrat aluminat kalsium (C-A-H). Senyawa-senyawa ini mengikat partikel-partikel tanah, sehingga mengurangi afinitas mineral lempung terhadap air dan akibatnya menurunkan batas cair serta indeks plastisitas, sekaligus meningkatkan batas plastis. Akibatnya, tanah yang distabilkan menjadi kurang plastis, lebih stabil, dan lebih sesuai untuk keperluan konstruksi (Mitchell & Soga, 2005). Berbagai bahan pozolan, baik alami maupun buatan, terbukti mampu menggantikan sebagian semen tanpa mengurangi kinerja campuran, sehingga menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya (Waani & Elisabeth, 2017).

Belakangan ini, penggunaan limbah pertanian sebagai bahan penstabil tambahan untuk mengurangi konsumsi semen dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan semakin mendapat perhatian. Abu sekam padi (RHA), yang dihasilkan dari pembakaran terkendali sekam padi, merupakan salah satu bahan tersebut berkat kandungan silika amorfnya yang tinggi.

Ketika dicampur dengan semen, RHA mengalami reaksi pozzolanik dengan kalsium hidroksida yang dilepaskan selama hidrasi semen, sehingga menghasilkan kalsium silikat hidrat tambahan yang semakin memperkuat ikatan antar partikel tanah. Reaksi ini berkontribusi dalam mengurangi plastisitas tanah sekaligus memanfaatkan limbah pertanian yang seharusnya dibuang (Basha dkk., 2005). Fenomena serupa juga ditemukan pada material pozolan pertanian lain, misalnya abu ampas tebu yang dicampurkan dengan semen mampu memperbaiki perilaku geser tanah lempung (Hatmoko & Suryadharma, 2017), serta abu terbang yang menunjukkan aktivitas pozzolanik yang mendukung reaksi hidrasi tambahan pada campuran semen (Ashad dkk., 2023).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan gabungan semen dan abu sekam padi secara efektif meningkatkan konsistensi tanah. Basha dkk. (2005) menemukan bahwa penambahan semen dan abu sekam padi secara signifikan menurunkan batas cair dan indeks plastisitas tanah sisa sekaligus meningkatkan kinerja tekniknya. Demikian pula, Wibowo dkk. (2023) melaporkan bahwa tanah yang distabilisasi menunjukkan plastisitas yang lebih rendah dan karakteristik pemadatan yang lebih baik, yang menandakan ketahanan yang lebih baik terhadap variasi kelembaban dan deformasi. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi semen dan abu sekam padi dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan dengan teknik stabilisasi konvensional. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pozolan alam maupun buatan efektif digunakan bersama semen untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah bermasalah. Mochtar dkk. (2014) melaporkan bahwa campuran abu sekam padi, abu terbang, dan CaCO_3 mampu memperbaiki perilaku tanah gambut berserat seiring bertambahnya usia stabilisasi. Diana dkk. (2021) menemukan bahwa substitusi sebagian kapur dengan bubuk cangkang telur pada stabilisasi tanah lempung dapat menurunkan indeks plastisitas hingga 55%–60%. Di wilayah Papua, Irianto dkk. (2023) membuktikan bahwa penambahan semen dan limbah tailing secara nyata meningkatkan kuat tekan bebas dan nilai CBR tanah lempung, sementara Tana dkk. (2024) menunjukkan bahwa kombinasi semen dan bahan tambah pada lapis pondasi tanah semen mampu meningkatkan kekuatan dan durabilitas sekaligus menekan biaya konstruksi jalan. Selain itu, Winarno & Syahril (2024) melaporkan bahwa material alternatif seperti lumpur alami dan larutan asam fosfat juga dapat berfungsi sebagai bahan penstabil tanah lunak, memperkuat gagasan bahwa berbagai limbah dan material

alami berpotensi menggantikan sebagian penggunaan semen konvensional.

Meskipun telah banyak penelitian yang meneliti stabilisasi tanah dengan menggunakan semen dan abu sekam padi, keefektifan bahan-bahan tersebut bergantung pada jenis tanah, komposisi mineral, dan perbandingan campuran. Oleh karena itu, pengujian laboratorium tetap diperlukan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik konsistensi tanah setempat. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh perbandingan campuran semen dan abu sekam padi yang berbeda terhadap konsistensi tanah dengan menentukan batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas melalui uji batas Atterberg. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk mengembangkan metode stabilisasi tanah yang berkelanjutan dan hemat biaya guna meningkatkan konsistensi tanah serta kinerja tekniknya.

METODE PENELITIAN

A. Material

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari lokasi pengambilan sampel yaitu Rante Balla pada kedalaman sekitar 0,5–1,0 m di bawah permukaan tanah untuk meminimalkan pengaruh bahan organik. Sampel tanah yang telah digali dikeringkan dengan udara, dihancurkan, dan disaring melalui saringan berukuran 4,75 mm sebelum dilakukan pengujian laboratorium. Semen Portland Biasa (OPC) digunakan sebagai bahan penstabil utama, sedangkan abu sekam padi (RHA) digunakan sebagai bahan pozzolanik tambahan. RHA diperoleh dari pembakaran sekam padi yang terkendali dan diayak melalui saringan No. 200 (75 µm) untuk memastikan ukuran partikel yang seragam.



Gambar 1. Bahan Tambah (a) Semen; (b) Abu Sekam Padi

Desain Benda Uji

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh semen dan abu sekam padi terhadap karakteristik konsistensi tanah. Kadar semen dijaga pada 2% dari berat kering tanah, sedangkan kadar abu sekam padi bervariasi

pada 4%, 8%, dan 12%. Sebuah spesimen tanah yang tidak diberi perlakuan disiapkan sebagai sampel kontrol untuk perbandingan. Perbandingan campuran yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Campuran

Sampel	Semen	Abu Sekam Padi
S0	0%	0%
S1	2%	4%
S2	2%	8%
S3	2%	12%

B. Persiapan Benda Uji

Tanah yang telah dikeringkan di udara dicampur secara menyeluruh dengan jumlah semen yang telah ditentukan sebelumnya hingga diperoleh campuran yang homogen. Abu sekam padi kemudian ditambahkan sesuai proporsi yang ditetapkan (4%, 8%, atau 12%) dan dicampur secara merata dengan campuran tanah-semen. Air suling ditambahkan secara bertahap hingga kadar air yang diinginkan untuk uji batas Atterberg tercapai. Campuran tersebut diaduk secara menyeluruh untuk memastikan distribusi bahan penstabil yang merata di seluruh tanah.

C. Uji Konsistensi Tanah

Karakteristik konsistensi tanah yang belum diolah dan tanah yang telah distabilkan dievaluasi menggunakan uji batas Atterberg, yang terdiri dari batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI). Uji-uji tersebut dilakukan sesuai dengan ASTM D4318 – Metode Uji Standar untuk Batas Cair, Batas Plastis, dan Indeks Plastisitas Tanah.

Batas cair ditentukan menggunakan metode cangkir Casagrande dengan mengukur kadar air yang sesuai dengan 25 kali pukulan yang diperlukan untuk menutup alur standar. Batas plastis ditentukan dengan menggulung benang tanah hingga mencapai diameter sekitar 3 mm sebelum terjadi penghancuran. Indeks plastisitas dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$PI = LL - PL \quad (1)$$

D. Analisis Data

Hasil eksperimen dianalisis dengan membandingkan batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas tanah yang belum diolah dengan campuran tanah yang telah distabilkan. Pengaruh peningkatan kandungan abu sekam padi terhadap konsistensi tanah dievaluasi menggunakan analisis deskriptif, perbandingan grafis, dan perubahan persentase relatif terhadap tanah yang belum diolah.

Campuran optimal diidentifikasi berdasarkan penurunan indeks plastisitas terbesar dan

peningkatan konsistensi tanah yang paling menguntungkan. Hasil tersebut kemudian dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan pengaruh hidrasi semen dan reaksi pozzolanik abu sekam padi terhadap modifikasi perilaku tanah.

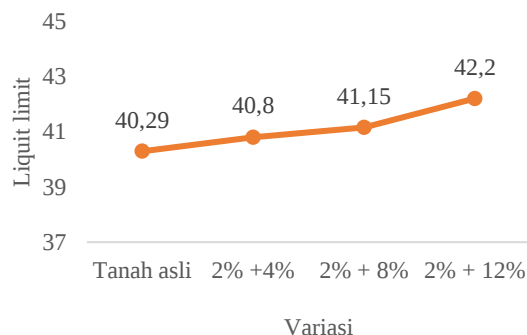
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah asli memiliki batas cair sebesar 40,29%, batas plastis sebesar 17,41%, dan indeks plastisitas sebesar 22,88%, yang menunjukkan bahwa tanah tersebut bersifat plastis sedang. Setelah distabilisasi dengan semen dan abu sekam padi, terjadi perubahan yang nyata pada karakteristik konsistensinya.

Tabel 2. Hasil Uji Konsistensi Tanah

No.	Pengujian Sifat Fisik Tanah			Nilai (%)
1	Tanah asli	Batas Cair (Liquid Limit)	—	40,29
		Batas Plastis (Plastic Limit)	—	17,41
		Batas Susut (Shrinkage Limit)	—	2,74
2	Variasi bahan tambah	Batas Cair (Liquid Limit)	2% + 4%	40,80
		Batas Cair (Liquid Limit)	2% + 8%	41,15
		Batas Cair (Liquid Limit)	2% + 12%	42,20
		Batas Plastis (Plastic Limit)	2% + 4%	22,60
		Batas Plastis (Plastic Limit)	2% + 8%	21,23
		Batas Plastis (Plastic Limit)	2% + 12%	23,80
		Batas Susut (Shrinkage Limit)	2% + 4%	2,79
		Batas Susut (Shrinkage Limit)	2% + 8%	2,81
		Batas Susut (Shrinkage Limit)	2% + 12%	2,83

Batas cair meningkat sedikit seiring dengan meningkatnya kandungan abu sekam padi, dari 40,29% pada tanah yang tidak diberi perlakuan menjadi 42,20% pada campuran yang mengandung 2% semen dan 12% abu sekam padi.

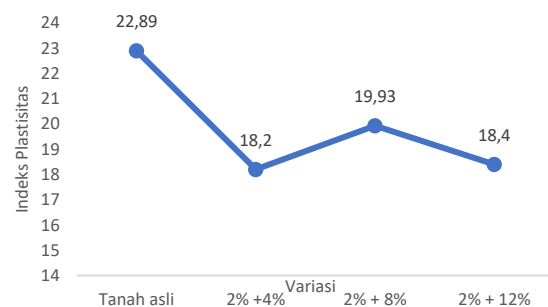


Gambar 2. Hubungan antara jumlah bahan tambah dengan nilai LL

Kenaikan tersebut relatif kecil (sekitar 4,7%) dan menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi tidak secara signifikan mengubah kadar air

pada saat tanah berubah dari keadaan plastis ke keadaan cair. Kenaikan yang sedikit ini mungkin disebabkan oleh struktur berpori dan luas permukaan spesifik yang tinggi dari abu sekam padi, yang memungkinkan campuran tersebut menahan lebih banyak air. Pola peningkatan kadar air akibat kehalusan butiran bahan pozolan yang ditambahkan juga dilaporkan pada stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan campuran semen-zeolit (Waani dkk., 2025).

Batas plastis meningkat lebih signifikan dibandingkan batas cair. Tanah yang belum diolah memiliki batas plastis sebesar 17,41%, yang meningkat menjadi 22,60%, 21,23%, dan 23,80% untuk campuran yang mengandung 4%, 8%, dan 12% RHA, masing-masing. Peningkatan batas plastisitas menunjukkan bahwa tanah yang distabilkan memerlukan kadar air yang lebih tinggi sebelum menunjukkan perilaku plastis. Peningkatan ini terkait dengan pembentukan produk semen selama reaksi hidrasi dan reaksi pozzolanik, yang mengikat partikel-partikel tanah dan mengurangi afinitasnya terhadap air, sebagaimana juga diamati pada campuran semen-fly ash (Theodorus dkk., 2010) dan campuran abu ampas tebu-semen (Hatmoko & Suryadharma, 2017) yang menghasilkan produk hidrasi tambahan pengikat partikel tanah.



Gambar 3. Hubungan antara jumlah bahan tambah dengan nilai PI

Indeks plastisitas, yang mewakili rentang kadar air di mana tanah tetap plastis, menurun setelah proses stabilisasi. Tanah asli menunjukkan indeks plastisitas sebesar 22,88%, sedangkan campuran yang distabilkan dengan semen dan RHA menghasilkan indeks plastisitas masing-masing sebesar 18,20%, 19,92%, dan 18,40%. Dibandingkan dengan tanah asli, penurunan indeks plastisitas tersebut masing-masing sekitar 20,5%, 12,9%, dan 19,6%. Besaran penurunan ini sebanding dengan hasil stabilisasi tanah lempung menggunakan bahan penstabil non-konvensional lain, misalnya substitusi kapur dengan bubuk cangkang telur yang mampu

menurunkan indeks plastisitas hingga 55%–60% (Diana dkk., 2021), maupun campuran garam dan limbah karbit yang turut memperbaiki kepadatan kering maksimum dan nilai CBR tanah lempung (Prisca & Wulandari, 2020).

Penurunan indeks plastisitas terbesar teramati pada campuran yang mengandung 2% semen dan 4% abu sekam padi, yang menunjukkan bahwa campuran ini memberikan peningkatan konsistensi tanah paling efektif di antara proporsi-proporsi yang diteliti. Meskipun campuran yang mengandung 12% abu sekam padi juga menunjukkan penurunan plastisitas yang cukup signifikan, penambahan abu sekam padi tersebut sedikit meningkatkan batas cair, sehingga menghasilkan indeks plastisitas yang sedikit lebih tinggi daripada campuran 2% semen + 4% abu sekam padi.

Temuan ini sejalan dengan yang dilaporkan oleh Basha dkk. (2005), yang mengamati bahwa semen dan abu sekam padi secara signifikan mengurangi plastisitas tanah berbutir halus melalui reaksi pozzolanik. Demikian pula, Wibowo dkk. (2023) melaporkan bahwa penambahan abu sekam padi ke dalam tanah yang distabilkan dengan semen meningkatkan karakteristik konsistensi dan mengurangi indeks plastisitas, sehingga tanah tersebut menjadi lebih sesuai untuk aplikasi lapisan dasar perkerasan jalan. Pemanfaatan bahan pozzolan sebagai substitusi sebagian semen juga telah terbukti mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kinerja campuran tanah pada penelitian lain, seperti pada campuran tanah semen daur ulang yang disubstitusi tras (Waani dkk., 2014) dan pada stabilisasi tanah dasar menggunakan larutan asam sulfat sebagai pembanding terhadap metode konvensional (Wardani dkk., 2015), yang sama-sama menegaskan bahwa kombinasi bahan penstabil dapat mengurangi ketergantungan terhadap semen tanpa mengorbankan kinerja teknik tanah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 2% semen yang dikombinasikan dengan abu sekam padi secara efektif meningkatkan karakteristik konsistensi tanah. Meskipun semua campuran yang distabilkan menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada tanah asli, campuran 2% semen + 4% abu sekam padi menghasilkan indeks plastisitas terendah, yang menunjukkan bahwa campuran tersebut merupakan campuran optimal untuk meningkatkan konsistensi tanah dalam kondisi penelitian ini. Penurunan plastisitas menunjukkan peningkatan kemampuan kerja, kerentanan yang lebih rendah terhadap deformasi yang disebabkan oleh kelembaban, serta peningkatan kesesuaian tanah untuk aplikasi teknik geoteknik dan perkerasan jalan.

PENUTUP

Berdasarkan hasil uji batas Atterberg, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan 2% semen yang dikombinasikan dengan abu sekam padi (RHA) meningkatkan karakteristik konsistensi tanah. Campuran stabilisasi meningkatkan batas plastis dari 17,41% pada tanah asli menjadi 22,60%, 21,23%, dan 23,80% untuk campuran yang mengandung 4%, 8%, dan 12% RHA, masing-masing. Batas penyusutan juga menunjukkan sedikit peningkatan, yang mengindikasikan peningkatan ketahanan terhadap perubahan volume.
2. Indeks plastisitas (PI) menurun setelah stabilisasi, yang menunjukkan berkurangnya plastisitas tanah. Tanah asli memiliki PI sebesar 22,88%, sedangkan campuran yang distabilisasi menunjukkan nilai PI sebesar 18,20%, 19,92%, dan 18,40% untuk campuran 2% semen + 4% RHA, 2% semen + 8% RHA, dan 2% semen + 12% RHA, masing-masing. Penurunan ini menunjukkan bahwa tanah yang telah diolah menjadi kurang rentan terhadap fluktuasi kelembaban dan menunjukkan perilaku teknik yang lebih baik.
3. Di antara campuran yang diteliti, kombinasi 2% semen dan 4% abu sekam padi menghasilkan karakteristik konsistensi yang paling menguntungkan, dengan mencapai indeks plastisitas terendah (18,20%), yang mewakili penurunan sekitar 20,5% dibandingkan dengan tanah asli. Oleh karena itu, dalam kondisi penelitian ini, campuran tersebut dapat dianggap sebagai perbandingan optimal untuk meningkatkan konsistensi tanah sekaligus mengurangi penggunaan semen melalui penambahan abu sekam padi sebagai bahan penstabil tambahan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashad, H., Rezky Putra, M., & Utina, T. (2023). Studi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(3), 379–384. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.3.6>
- ASTM International. (2020). *ASTM D4318-17e1: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badriyah, N., & Wulandari, S. (2020). Efektivitas Akar Vetiver terhadap Peningkatan Kohesi Tanah Lereng sebagai Tinjauan untuk Perkuatan Lereng. *Jurnal Teknik Sipil*,

- 27(2), 127–134.
<https://doi.org/10.5614/jts.2020.27.2.3>
- Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B., & Muntohar, A. S. (2005). Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*, 19(6), 448–453.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.08.001>
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Diana, W., Hartono, E., Widiyanti, A., & Apriliani, R. (2021). Pengaruh Substitusi Bubuk Cangkang Telur terhadap Batas-Batas Konsistensi Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Kapur. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(2), 232–241.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v27i2.33885>
- Hatmoko, J. T., & Suryadharma, Y. H. (2017). Perilaku Geser Tanah yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Tebu-Semen dan Inklusi Serat Polyester. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 133–141.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v23i2.15975>
- Irianto, I., Sitorus, P. H., Mabui, D. S. S., Rochmawati, R., & Lapian, F. E. P. (2023). Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Tailing PT. Freeport sebagai Bahan Stabilisasi Tanah pada Lapis Pondasi Jalan. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(3), 449–456.
<https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.3.13>
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Mochtar, N. E., Yulianto, F. E., & Satria, T. R. (2014). Pengaruh Usia Stabilisasi pada Tanah Gambut Berserat yang Distabilisasi dengan Campuran CaCO₃ dan Pozolan. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(1), 57–64.
<https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.1.6>
- Prisca, L. N., & Wulandari, S. (2020). Pengaruh Penambahan Garam dan Limbah Karbit pada Tanah Lempung terhadap Kepadatan Kering Maksimum dan CBR. *Jurnal Teknik Sipil*, 27(3), 239–246.
<https://doi.org/10.5614/jts.2020.27.3.5>
- Rahayu, W., Lisdiyanti, P., & Pratama, R. E. (2015). Tanah Gambut Melalui Uji Triaksial Consolidated Undrained dan Unconsolidated Undrained. *Jurnal Teknik Sipil*, 22(3), 201–208.
<https://doi.org/10.5614/jts.2015.22.3.4>
- Tana, A., Wibowo, S. S., & Rahman, H. (2024). Kajian Stabilisasi Tanah dengan Semen dan Bahan Tambah sebagai Lapis Pondasi pada Perkerasan Jalan (Studi Kasus: Tanah dari Kawasan Ibu Kota Nusantara). *Jurnal Teknik Sipil*, 31(1), 53–60.
<https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.1.6>
- Theodorus, A., Sugeng, B., Suratman, I., & Hermawan, R. (2010). Kajian Efektifitas Semen dan Fly Ash dalam Campuran Soil Cement Memakai Tanah Lempung dan Pasir Pulau Timor. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 69–84.
<https://doi.org/10.5614/jts.2008.15.2.3>
- Waani, J. E., & Elisabeth, L. (2017). Substitusi Material Pozolan terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3), 237–246.
<https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.3.7>
- Waani, J. E., Manoppo, M. R. E., & Mandagi, A. T. (2025). Pengaruh Rasio Semen-Zeolit dan Jumlah Material Stabilisasi terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Ekspansif. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 31(1), 25–32.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v31i1.72460>
- Waani, J. E., Prabandiyani, S., & Setiadji, B. H. (2014). Evaluasi Sifat-Sifat Mekanik Campuran CTRB yang Disubstitusi Parsial dengan Pozolan Alam (Tras). *Jurnal Teknik Sipil*, 21(3), 229–240.
<https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.3.6>
- Wardani, S. P. R., Hardiyati, S., Muhrozi, M., & Pardoyo, B. (2015). Stabilisasi Tanah Lempung dengan Menggunakan Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄) pada Tanah Dasar di Daerah Godong-Purwodadi Km 50 Kabupaten Grobogan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 21(1), 13–22.
- Wibowo, D. E., Ramadhan, D. A., Endaryanta, & Prayuda, H. (2023). Soil stabilization using rice husk ash and cement for pavement subgrade materials. *Revista de la Construcción*, 22(1), 192–205.
<https://doi.org/10.7764/RDLC.22.1.192>
- Winarno, A. B., & Syahril, S. (2024). Stabilisasi Tanah Lunak Menggunakan Lumpur Bledug Kuwu dan Larutan Asam Fosfat Ditinjau dari Nilai Kuat Tekan Bebas. *Jurnal Teknik Sipil*, 31(2), 235–240.
<https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.2.14>