

Pengaruh Pencampuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA) untuk Stabilisasi Tanah Lempung

Erlian Tamara ^{[1]*}, Sri Wulandari ^[1]

^[1] Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma, Depok, 16424, Indonesia

Email: erliantamara1@gmail.com*, sri_wulandari@staff.gunadarma.ac.id

*) Correspondent Author

Received: 20 September 2023; **Revised:** 09 June 2024; **Accepted:** 10 July 2024

How to cited this article:

Tamara, E., Wulandari, S., (2025). Pengaruh Pencampuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA) untuk Stabilisasi Tanah Lempung. Jurnal Teknik Sipil, 21(1), 144–157. <https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.7488>

ABSTRAK

Tanah lempung memiliki daya dukung yang relatif rendah dan kompresibilitas tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan tanah sebelum konstruksi dimulai. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan sodium lignosulfonate (SLS) dan abu sekam padi (RHA) sebagai bahan stabilisasi tanah lempung yang ditinjau berdasarkan nilai parameter kuat geser tanah, koefisien pemampatan dan koefisien konsolidasi. Sampel tanah lempung dalam penelitian ini berasal dari kawasan proyek perumahan Keandra Lagoon yang berlokasi di Kecamatan Tengah Tani, Kabupaten Cirebon. Hasil penelitian menunjukkan tanah asli dengan penambahan 10% abu sekam padi (RHA) dan 10% sodium lignosulfonate (SLS) sudut geser dalam yang terbentuk pada sampel tersebut sebesar $26,009^\circ$ dengan kohesi $0,0635 \text{ kg/cm}^3$. Nilai indeks pemampatan (C_c) terendah sebesar 0,125 diperoleh pada kadar 10% sodium lignosulfonate dan 10% abu sekam padi dengan perlakuan pemeraman selama 28 hari. Sedangkan nilai Koefisien konsolidasi (C_v) tertinggi sebesar $0,308 \text{ cm}^2/\text{menit}$ dihasilkan oleh tanah dengan campuran 10% sodium lignosulfonate dan 10% abu sekam padi dengan perlakuan pemeraman selama 0 hari. Sodium lignosulfonate (SLS) dan abu sekam padi (RHA) dapat menurunkan potensi kembang susut tanah berdasarkan pengujian konsolidasi.

Kata kunci: Abu Sekam Padi (RHA), Lempung, Konsolidasi, Kuat Geser Langsung, Sodium Lignosulfonate (SLS).

ABSTRACT. *Effect of Blending Sodium Lignosulfonate (SLS) and Rice Husk Ash (RHA) for Stabilization of Clay Soil.* Clay soils have relatively low bearing capacity and high compressibility. Therefore, it is necessary to improve the soil before construction begins. This research aims to analyze the effect of adding sodium lignosulfonate (SLS) and rice husk ash (RHA) as clay stabilization materials based on the parameter values of soil shear strength, compression coefficient and consolidation coefficient. The clay soil samples in this study came from the Keandra Lagoon housing project area located in Tengah Tani Subdistrict, Cirebon Regency. The results showed that the original soil with the addition of 10% rice husk ash (RHA) and 10% sodium lignosulfonate (SLS) had a deep shear angle of 26.009° with a cohesion of 0.0635 kg/cm^3 . The lowest value of compression index (C_c) which amounted to 0.125 cm^2/min was obtained at 10% sodium lignosulfonate and 10% rice husk ash with 28 days of curing treatment. While the highest coefficient of consolidation (C_v) which amounted to $0.308 \text{ cm}^2/\text{min}$ was obtained by soil with a mixture of 10% sodium lignosulfonate and 10% rice husk ash with 0 days of curing treatment. Sodium lignosulfonate (SLS) and rice husk ash (RHA) can reduce the shrinkage expansion potential of soil based on consolidation testing.

Keywords: Rice Husk Ash (RHA), Clay, Consolidation, Direct Shear Strength, , Sodium Lignosulfonate (SLS).

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung rentan mengalami perubahan bentuk akibat perubahan kadar air, memiliki perilaku tidak stabil saat terjadi pembebanan, serta memiliki nilai daya dukung yang relatif rendah. Dikarenakan sifat-sifat tanah lempung yang kurang memenuhi syarat teknis untuk mendirikan bangunan serta membahayakan bangunan di atasnya, diperlukan perbaikan tanah terlebih dahulu sebelum kegiatan konstruksi dilakukan. Perbaikan tanah atau stabilisasi tanah merupakan upaya untuk memperbaiki sifat-sifat fisik dan mekanis tanah yang tidak menguntungkan seperti daya dukung rendah, indeks plastisitas yang tinggi dan nilai *swelling* tinggi, agar dapat memenuhi persyaratan teknis yang dibutuhkan. Metode stabilisasi tanah yang dapat dilakukan adalah stabilisasi secara kimiawi. Pada metode stabilisasi secara kimiawi tanah dicampur dengan bahan stabilisasi (*stabilizer*) yang dapat berupa kapur, semen, *fly ash*, dan lain sebagainya. Menurut Das dan Sobhan (2013) mengungkapkan bahwa stabilisator tanah sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah dan mengurangi kompresibilitas tanah.

Lignosulfonate dan abu sekam padi (RHA) merupakan stabilisator yang digunakan dalam penelitian ini. Penelitian terdahulu telah banyak mengungkapkan mengenai penggunaan lignosulfonate dan abu sekam padi (RHA) sebagai material stabilisasi tanah. Menurut Chen dkk. (2014) lignosulfonate merupakan polimer organik, produk sampingan dari industri kertas. Penggunaan lignosulfonate sebagai bahan stabilisator yang berkelanjutan untuk stabilisasi tanah telah diidentifikasi sebagai cara yang ramah lingkungan dan rendah karbon.

Tao Zhang, Ph.D, Guojun Cai, Ph.D, dan Songyu Liu, Ph.D (2018) dalam penelitiannya yang berjudul *Application of Lignin-Stabilized Silty Soil in Highway Subgrade: A Macroscale Laboratory Study*. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai batas cair meningkat tajam dengan meningkatnya kandungan lignin dan peningkatan maksimum sebesar 27% terjadi pada 12% penambahan lignin. Sifat mekanik ini sedikit menurun bila kandungan lignin melebihi 12%, yaitu persentase optimum lignin untuk tanah berlanau pada penelitian ini adalah sekitar 12%.

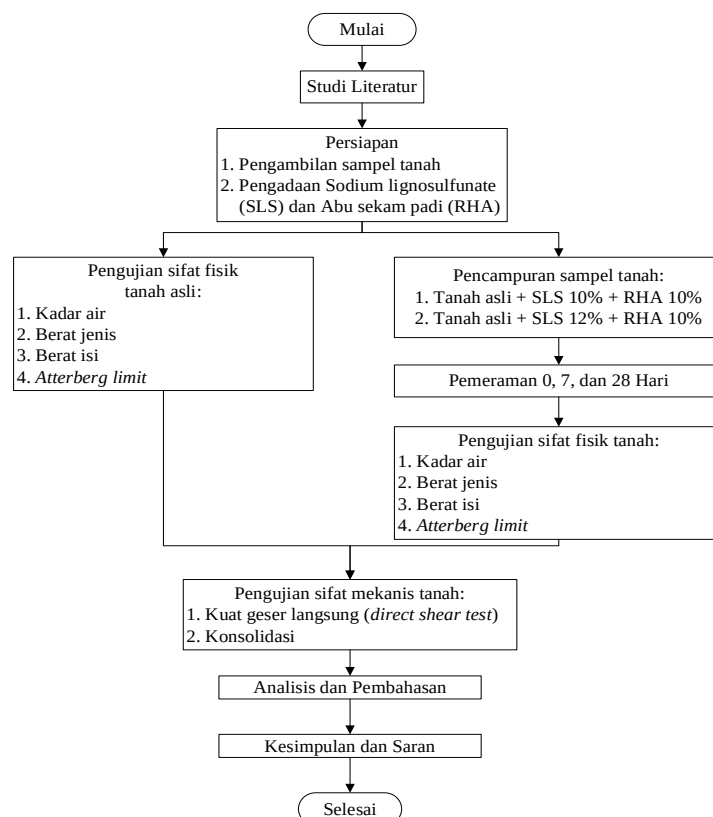
Hanifi Canakci, Aram Aziz, dan Fatih Celik (2015) dalam penelitian berjudul *Soil Stabilization of Clay with Lignin, Rice Husk Powder and Ash* mengungkapkan bahwa peningkatan yang signifikan pada kuat tekan bebas dengan penambahan lignin, RHP dan RHA. Menurut hasil PI, 20% Lignin, 20% RHP dan 10% RHA berpengaruh paling besar terhadap PI tanah ekspansif. Batas cair menurun dengan meningkatnya RHA. Ketika RHA meningkat dari 0% menjadi 10%, nilai *liquid limit* berkurang dari 148% menjadi 137,2%. Persentase pengembangan (*swelling*) berkurang dengan peningkatan kandungan RHA. Persentase pengembangan berkurang dari 13% menjadi 5,65% ketika RHA meningkat dari 2,5% menjadi 10%.

Tujuan penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan sodium lignosulfonate (SLS) dan abu sekam padi (RHA) pada tanah lempung terhadap nilai kohesi tanah dan nilai sudut geser

dalam melalui pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*), nilai indeks pemampatan dan koefisien konsolidasi melalui uji konsolidasi, serta mengevaluasi variasi campuran tanah dan stabilisator yang menghasilkan kekuatan tanah tertinggi.

2 METODOLOGI

Data primer yang diperlukan dalam penelitian ini didapat dari pengujian tanah di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Gunadarma meliputi pengujian *index properties* tanah, yaitu: kadar air, berat jenis, berat isi, dan uji batas-batas Atterberg. Dilakukan pula pengujian sifat mekanis tanah meliputi pengujian kuat geser langsung dan konsolidasi. Pengujian dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia yang berlaku menggunakan dua jenis tanah, yaitu tanah asli (*undisturb*) dan tanah yang telah diberi campuran sodium lignosulfonate (SLS) dengan persentase 10% dan 12%, serta abu sekam padi (RHA) dengan persentase 10%. Sampel tanah ditambahkan dan dicampur dengan *stabilizer* dan dilakukan pemeraman selama 0, 7, dan 28 hari. Hasil pengujian diolah dan dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Tanah yang diteliti merupakan tanah asli yang berada di Jalan Serbaguna, Battembat, Kecamatan Tengah Tani, Kabupaten Cirebon, Jawa Barat. Gambar 1 memperlihatkan alur penelitian yang dilaksanakan.



Gambar 1. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

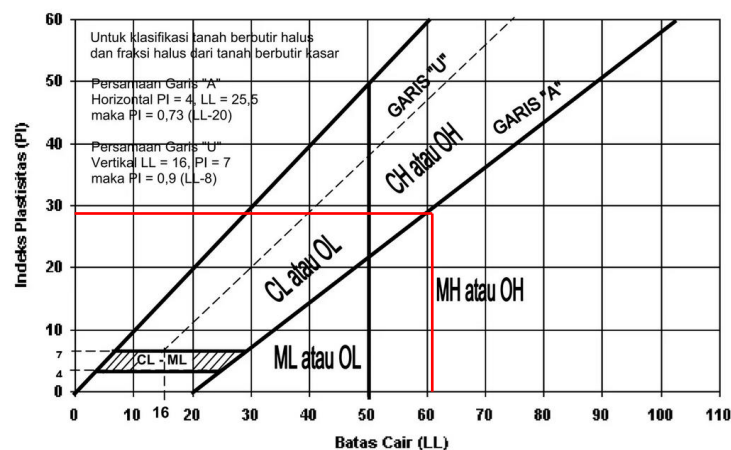
3.1. Karakteristik Tanah Asli

Karakteristik tanah berupa sifat fisis dan sifat mekanis dapat diketahui melalui pengujian di laboratorium. Hasil pengujian tanah *undisturb* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sampel Tanah Asli

	Parameter	Satuan	Tanah Asli
Index Properties	Kadar Air (w)	%	50,135
	Berat Jenis (Gs)		2,407
	Berat Isi Basah (γ_b)	g/cm ³	2,307
	Berat Isi Kering (γ_d)	g/cm ³	1,517
	Isi Pori	cm ³	37,319
	Liquid Limit (LL)	%	61,272
	Plastic Limit (LL)	%	32,694
	Plastic Index (PI)	%	28,578
	Shrinkage Limit (SL)	%	26,911
	Kuat Geser Tanah	kg/cm ²	0,203
Engineering Properties	Sudut Geser Dalam	°	21,400
	Kohesi	kg/cm ²	0,049
	Koefisien Pemampatan (Cc)	-	0,385
	Koefisien Konsolidasi (Cv)	cm ² /menit	0,453

Sampel tanah asli termasuk dalam kelompok MH yaitu tanah lanau tak organik/lanau yang elastis atau OH yaitu tanah lempung organik yang memiliki plastisitas sedang sampai tinggi. Hasil *plotting* grafik klasifikasi tanah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil *Plotting* Klasifikasi Tanah Berdasarkan Grafik USCS
Sumber: (SNI 6371:2015)

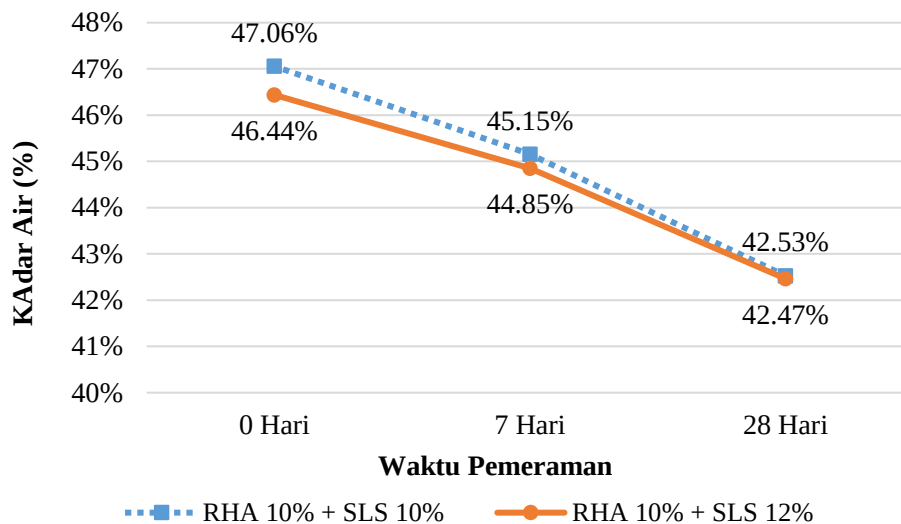
3.2 Karakteristik Tanah dengan Campuran

Sampel yang digunakan untuk menguji karakteristik tanah terstabilisasi adalah tanah asli yang diberi campuran 10% dan 12% sodium lignosulfonate (SLS) dan abu sekam padi sebanyak

10%. Sampel tanah dengan campuran *stabilizer* akan dilakukan pemeraman dengan variasi pemeraman 0, 7, dan 28 hari.

3.2.1 Sifat Fisik Tanah (*Index Properties*)

Pengujian *index properties* yang dilakukan meliputi pengujian kadar air tanah, berat jenis tanah, berat isi, dan pengujian batas-batas Atterberg. Hasil pengujian kadar air tanah terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemeriksaan Kadar Air Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

Gambar 3 merupakan grafik hasil pengujian kadar air tanah yang telah diberi campuran bahan *stabilizer* berupa sodium lignosulfonate (SLS) dan abu sekam padi (RHA). Dari grafik pada Gambar 3 terlihat bahwa kadar air mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar sodium lignosulfonate (SLS) dan bertambahnya lama waktu pemeraman. Penambahan SLS sebanyak 12% menghasilkan penurunan nilai kadar air tanah yang lebih besar, daripada tanah yang diberi penambahan SLS 10%. Nilai kadar air terkecil dihasilkan oleh sampel tanah dengan penambahan 10% RHA dan 12% SLS dengan waktu pemeraman 28 hari. Pengujian berat jenis dan berat isi juga dilakukan untuk tanah yang ditambahkan sodium lignosulfonate dan abu sekam padi, dengan hasil pengujian terdapat pada Tabel 2.

Dapat dilihat pada Tabel 2, penambahan sodium lignosulfonate dan abu sekam padi berdampak pada penurunan nilai berat jenis. Penurunan ini dikarenakan nilai berat jenis sodium lignosulfonate lebih kecil dari berat jenis tanah, namun seiring bertambahnya waktu pemeraman nilai berat jenis semakin meningkat. Pada tanah dengan penambahan RHA 10% dan SLS 10%,

juga mengakibatkan kenaikan pada berat isi tanah dan turunnya isi pori. Hal ini dikarenakan abu sekam padi bertindak sebagai *filler* atau bahan pengisi rongga pori tanah.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Berat Isi Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

Parameter	Tanah Asli	Tanah + RHA 10% + SLS 10%			Tanah + RHA 10% + SLS 12%		
		0 Hari	7 Hari	28 Hari	0 Hari	7 Hari	28 Hari
Berat Jenis	2.407	1.765	1.788	1.804	2.055	2.100	2.116
Berat Isi Basah (g/cm ³)	2.307	1.802	1.814	1.814	1.995	2.023	2.004
Berat Isi Kering (g/cm ³)	1.517	1.507	1.528	1.546	1.638	1.697	1.683
Isi Pori (cm ³)	37.319	17.786	17.613	17.000	19.961	18.799	18.423

Pengujian batas-batas Atterberg dilakukan untuk mengetahui nilai batas cair, batas plastis, dan batas susut tanah. Pengujian batas-batas Atterberg juga berguna untuk mengetahui klasifikasi tanah. Pengujian batas cair dilakukan menggunakan *liquid limit device*, tanah ditambahkan air kemudian diuji pada alat *liquid limit device*. Tahap ini terus dilakukan sampai mendapat nilai ketukan yang diinginkan. Berdasarkan SNI 1967:2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah, nilai batas cair ditentukan dengan Persamaan (1).

$$LL = w_n \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad (1)$$

Keterangan:

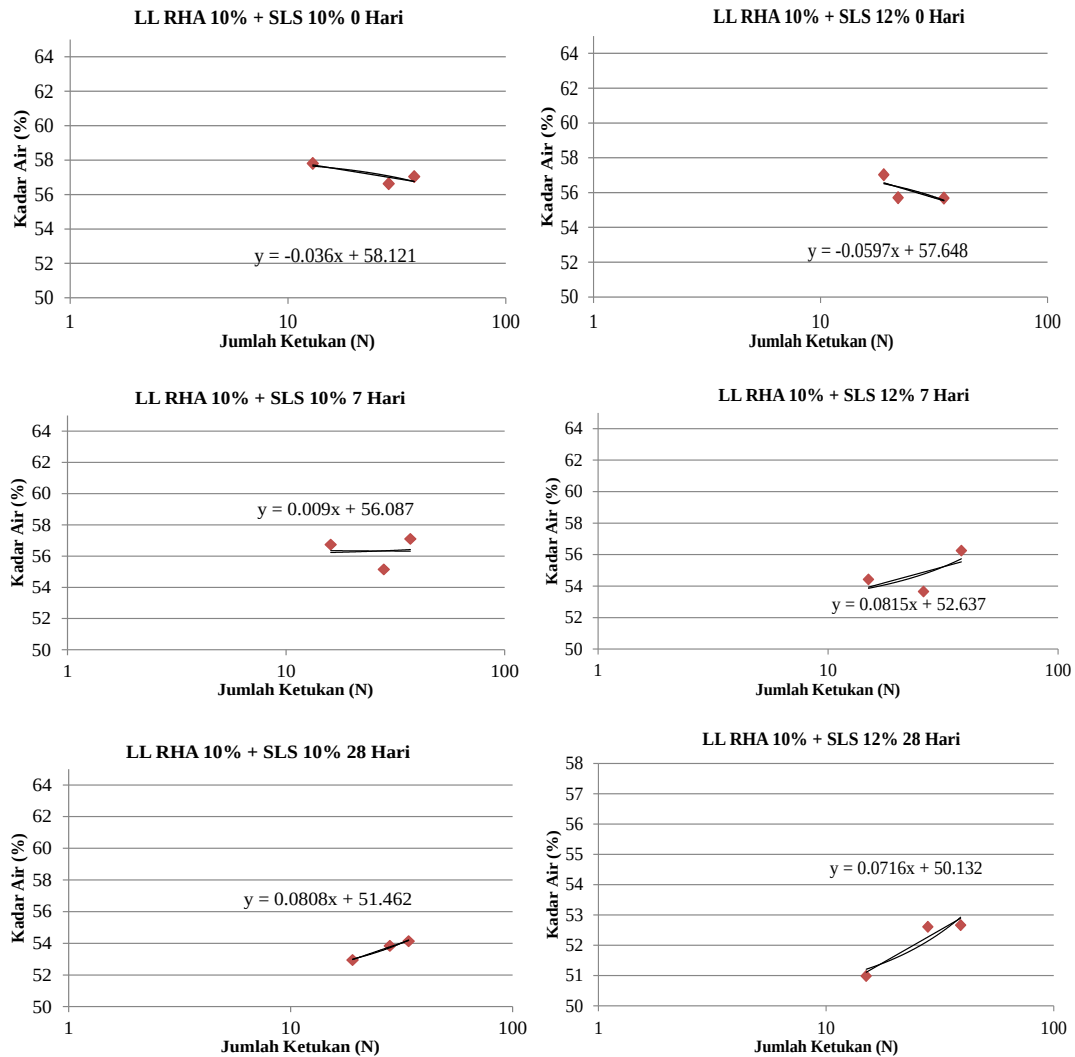
LL : batas cair terkoreksi untuk tertutupnya alur pada 25 pukulan (%)

N : jumlah pukulan yang menyebabkan tertutupnya alur pada kadar air tertentu

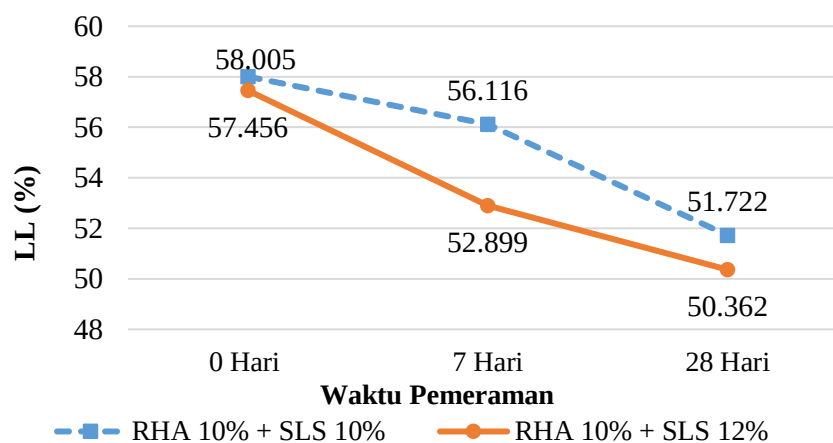
w_n : kadar air (%)

Gambar 4 merupakan grafik hasil tiap pengujian batas cair tanah dengan campuran *stabilizer* pada variasi RHA 10% + SLS 10% dan RHA 10% + SLS 12% untuk waktu pemeraman 0, 7, dan 28 hari. Gambar 5 memberikan rekapitulasi hasil pengujian batas cair sampel.

Penambahan sodium lignosulfonate dan abu sekam padi berdampak pada penurunan nilai batas cair seiring dengan pertambahan kadar campuran stabilisator ke dalam tanah dan semakin lama pemeraman yang dilakukan pada sampel tanah maka nilai batas cair akan semakin menurun. Nilai batas cair terendah terdapat pada campuran dengan abu sekam padi (RHA) 10% dan sodium lignosulfonate (SLS) 12% dengan waktu pemeraman 28 hari yaitu 50,362%. Penurunan yang terjadi disebabkan karena banyaknya persentase abu sekam padi dan sodium lignosulfonate yang dicampurkan dapat dengan cepat mengurangi kadar air pada uji batas cair.

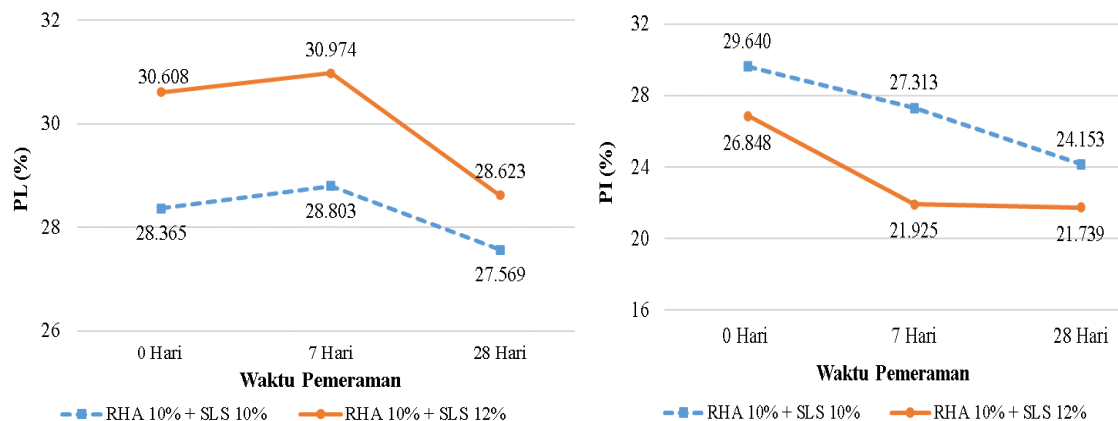


Gambar 4. Hasil Pengujian Batas Cair Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)



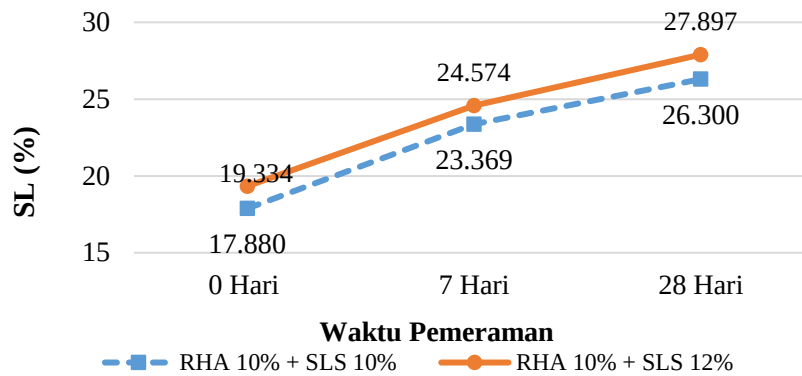
Gambar 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Batas Cair Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

Gambar 6 menunjukkan bahwa penambahan 10% sodium lignosulfonate (SLS) lebih efektif untuk menurunkan kadar plastis tanah dibandingkan dengan penambahan 12% sodium lignosulfonate. Secara keseluruhan penambahan kadar abu sekam padi dan sodium lignosulfonate dapat menurunkan nilai batas plastis tanah, penurunan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya waktu pemeraman. Batas plastis terendah dihasilkan oleh tanah dengan campuran RHA 10% + SLS 10% dengan waktu pemeraman 28 hari yaitu sebesar 27,569%. Indeks plastisitas memiliki kecenderungan menurun. Tanah asli dengan campuran 10% abu sekam padi dan 12% sodium lignosulfonate 28 hari menghasilkan nilai indeks plastisitas terkecil yaitu 21,739%. Penurunan indeks plastisitas terjadi dikarenakan penambahan abu sekam padi bertindak sebagai *filler* atau pengisi pori tanah sehingga sensitivitas tanah terhadap air menjadi berkurang dan memperkecil potensi kembang susut dikarenakan perubahan kadar air tanah. Penurunan nilai indeks plastisitas menghasilkan sifat tanah yang lebih baik.



Gambar 6. Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastisitas Tanah (PI) dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

Dari Gambar 7 dapat dilihat, seiring dengan penambahan persentase bahan campuran nilai batas susut semakin besar. Nilai batas susut tertinggi terdapat pada campuran tanah dengan 10% abu sekam padi dan 12% sodium lignosulfonate dengan waktu pemeraman 28 hari yaitu sebesar 27,897%. Menurut Bowles (1986) semakin rendah nilai batas susut, maka semakin sedikit pula air yang dibutuhkan untuk mengubah volume sehingga potensi kembang susut semakin tinggi.

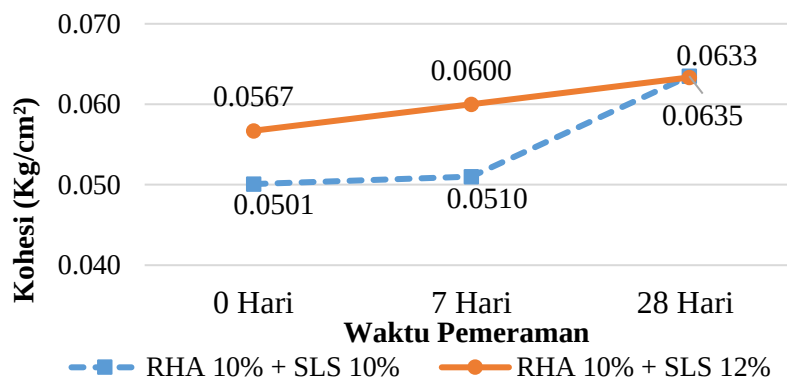


Gambar 7. Hasil Pengujian Batas Susut Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

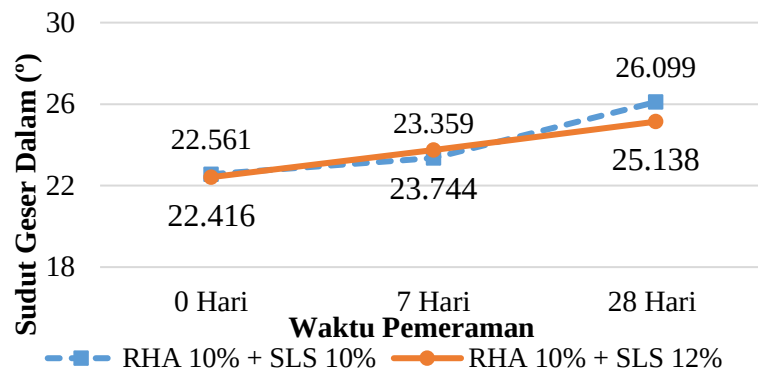
3.2.2 Sifat Mekanis Tanah (*Engineering Properties*)

Pengujian *engineering properties* tanah yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kuat geser langsung dan konsolidasi. Pemilihan jenis pengujian didasarkan pada sifat tanah asli yang memiliki kuat geser rendah yang berakibat pada terbatasnya beban yang dapat ditahan oleh tanah, tingkat kompresibilitas dan pemampatan tinggi. Hal ini memungkinkan terjadinya penurunan tanah setelah pembangunan selesai dilakukan, serta sensitif terhadap perubahan kadar air yang berakibat pada perubahan volume tanah (*swelling*).

Meningkatnya kadar sodium lignosulfonate (SLS) akan menyebabkan kenaikan nilai kohesi dan sudut geser dalam seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9. Hal ini terjadi karena sifat SLS yang bertindak sebagai lem alami, yang meningkatkan kekuatan dengan meningkatkan daya pengikatan tanah menjadi lebih efektif. Kenaikan terus terjadi hingga waktu pemeraman 28 hari. Kadar optimum campuran yang diperoleh dari pengujian kuat geser langsung adalah tanah asli dengan 10% abu sekam padi (RHA) dan 12% sodium lignosulfonate (SLS). Sudut geser dalam yang terbentuk sebesar $26,009^\circ$ dengan kohesi $0,0635 \text{ kg/cm}^2$.

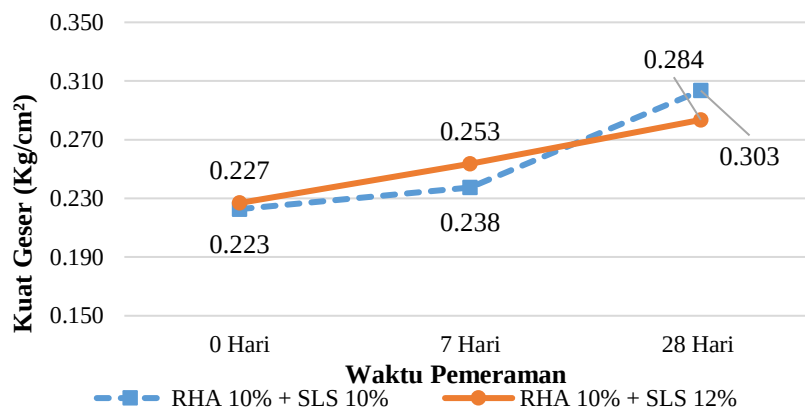


Gambar 8. Nilai Kohesi Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)



Gambar 9. Nilai Sudut Geser Dalam Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

Dari grafik pada Gambar 10, tanah asli yang ditambahkan 10% abu sekam padi (RHA) dan 10% sodium lignosulfonate (SLS) dengan waktu pemeraman 28 hari menghasilkan nilai kuat geser tanah tertinggi sebesar 0,303 kg/cm². nilai tersebut mengalami kenaikan sebesar 49,401% dari tanah asli.



Gambar 10. Nilai Kuat Geser Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

Pengujian konsolidasi tanah dilakukan untuk menganalisis bagaimana tanah merespons beban atau tekanan yang bekerja pada tanah tersebut. Pengujian konsolidasi memiliki dua parameter yaitu koefisien pemampatan dan koefisien konsolidasi. Koefisien pemampatan (C_c) merupakan parameter yang mengindikasikan seberapa besar perubahan konsolidasi atau penurunan tanah yang diakibatkan oleh beban yang bekerja, sedangkan koefisien konsolidasi (C_v) menggambarkan periode waktu atau tingkat kecepatan konsolidasi hingga mencapai kondisi stabil. Tabel 3 merupakan hasil pengujian konsolidasi tanah dengan campuran *stabilizer*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsolidasi Tanah dengan Campuran Sodium Lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA)

Sampel	Waktu Pemeraman (Hari)	Indeks Pemampatan (Cc)	Koefisien Konsolidasi (Cv) cm ² /menit
Tanah Asli	0	0,385	0,453
10% RHA + 10% SLS	0	0,203	0,682
10% RHA + 10% SLS	7	0,196	0,449
10% RHA + 10% SLS	28	0,125	0,308
10% RHA + 12% SLS	0	0,277	0,452
10% RHA + 12% SLS	7	0,267	0,275
10% RHA + 12% SLS	28	0,141	0,231

Tanah asli yang diberi tambahan abu sekam padi (RHA) 10% dan sodium lignosulfonate (SLS) 10% dengan waktu pemeraman 0 hari menghasilkan nilai koefisien konsolidasi tertinggi yaitu 0,682 cm²/menit. Penurunan nilai koefisien konsolidasi terjadi setelah pemeraman 7 hari dan 28 hari. Penurunan Cv juga terjadi pada semua tanah dengan campuran sodium lignosulfonate (SLS) 12%. Hal ini dapat terjadi karena sifat SLS yang mengikat partikel tanah secara erat, mengakibatkan air sulit keluar dari pori tanah sehingga waktu penurunan menjadi lebih lama.

Penambahan campuran sodium lignosulfonate juga mempengaruhi penurunan nilai indeks pemampatan Cc. Nilai Cc terendah diperoleh pada kadar 10% abu sekam padi (RHA) dan 10% sodium lignosulfonate (SLS) dengan waktu pemeraman 28 hari yaitu sebesar 0,125. Tanah yang diberi kadar sodium lignosulfonate 12% menghasilkan penurunan lebih besar daripada tanah dengan kadar sodium lignosulfonate 10%. Penggunaan sodium lignosulfonate yang lebih banyak mengakibatkan penambahan persentase penurunan tanah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan campuran sodium lignosulfonate (SLS) dan abu sekam padi (RHA) dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah asli. Penambahan sodium lignosulfonate (SLS) dan Abu Sekam Padi (RHA) dapat menurunkan nilai plastisitas tanah asli dari 28,576 menjadi 21,739, mengurangi nilai kadar air tanah dari 50,140% menjadi 42,74%. Penurunan nilai indeks plastisitas dan kadar air mengakibatkan potensi kembang susut tanah akan semakin kecil. Penambahan sodium lignosulfonate dan abu sekam padi juga berakibat menurunkan nilai batas cair dan batas susut tanah, penurunan nilai batas cair dan susut terjadi seiring dengan penambahan waktu pemeraman. Sampel tanah yang diberi perlakuan pemeraman 28 hari menghasilkan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan waktu pemeraman 0 dan 7 hari. Parameter sifat fisik dan mekanis tanah cenderung meningkat lebih baik dengan penambahan 12% sodium lignosulfonate namun pada

beberapa parameter penggunaan 10% sodium lignosulfonate menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding kadar 12%.

Persentase campuran yang menghasilkan kekuatan tanah tertinggi berdasarkan pengujian kuat geser langsung dan konsolidasi pada penelitian ini adalah campuran tanah dengan penambahan 10% sodium lignosulfonate dan 10% abu sekam padi dengan waktu pemeraman 28 hari yang dapat menaikkan nilai kuat geser sebesar 21,597%. dan mengurangi penurunan tanah sebesar 63,429%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrozak, Muhammad Rifqi. "Stabilisasi tanah lempung dengan bahan tambah abu sekam padi dan kapur pada subgrade perkerasan jalan." *Teknisia* (2017): 416-424.
- Alazigha, D. P. *et al.* (2016), "The swelling behaviour of lignosulfonate-treated expansive soil," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, 169(3), hal. 182–193. doi: 10.1680/jgrim.15.00002.
- Anwar Hossain, Khandaker M. (2011), "Stabilized soils incorporating combinations of rice husk ash and cement kiln dust." *Journal of Materials in Civil Engineering* 23.9:1320-1327
- Badan Standarisasi Nasional. 1994. Cara Uji Berat Isi Tanah. SNI 03:3637:1994. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Berat Jenis Tanah. SNI 1964:2008. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. SNI 1965:2008. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. SNI 1966:2008. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. SNI 1967:2008. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penentuan Batas Susut Tanah. SNI 3422:2008. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Cara Uji Konsolidasi pada Tanah Satu Dimensi. SNI 2812:2011. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. Cara Uji Kuat Geser Langsung Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase. SNI 3420:2016. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bowles J.E. 1986. Sifat-sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Bradford, J. M. (1976) *Fundamentals of Soil Behavior*, *Soil Science Society of America Journal*. doi: 10.2136/sssaj1976.03615995004000040003x.
- Canakci, H., Aziz, A. dan Celik, F. (2015) "Soil stabilization of clay with lignin, rice husk powder and ash," *Geomechanics and Engineering*, 8(1), hal. 67–79. doi: 10.12989/gae.2015.8.1.067.
- Chen, Q. dan Indraratna, B. (2015) "Deformation Behavior of Lignosulfonate-Treated Sandy Silt under Cyclic Loading," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(1), hal. 1–5. doi: 10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001210.
- Darwis, H. (2017) *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta : Pustaka
- AQ Nyutran MG II
- Depatemen Pekerjaan Umum (2007) "Perencanaan Stabilisasi Tanah dengan Serbuk Pengikat

- untuk Konstruksi Jalan,” (008).
- Goma, J. M. dan Mwale, M. C. (2016) “Zambia’s Experience on the USE and Performance of Sulfonated Petroleum Products and Other Non-Conventional Soil Stabilizers in Road Construction,” hal. 164–171. doi: 10.1061/9780784480090.021.
- Hardiyatmo, H. C. 1992. Mekanika Tanah I. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama
- Hardjowigeno, Sarwono. (1989). Ilmu Tanah. Jakarta : Mediyatama Sarana Perkasa
- Improvement, G., Gsp, G. dan Engineering, T. (2014) “Ground Improvement and Geosynthetics GSP 238 © ASCE 2014 158,” *Geo-Shanghai 2014: Ground Improvement and Geosynthetics*, (1987), hal. 158–167.
- Indraratna, B. (2012) “Chemical minerological behaviour of lignousulfonate treated soil.,” *GeoCongress 2012*, (1999), hal. 3199–3208.
- Karatai, Thomas Rukanya, et al. "Soil stabilization using rice husk ash and natural lime as an alternative to cutting and filling in road construction." *Journal of Construction Engineering and Management* 143.5 (2017): 04016127.
- Kim, S., Gopalakrishnan, K. dan Ceylan, H. (2012) “Moisture susceptibility of subgrade soils stabilized by lignin-based renewable energy coproduct,” *Journal of Transportation Engineering*, 138(11), hal. 1283–1290. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000097.
- Li, Y. (2019) “Laboratory and in situ evaluations of using bio-based co-product for pavement geo-materials stabilization.”
- Manoppo, C. J., Manoppo, F. J. dan Rondonuwu, S. G. (2017) “Analisis Perkuatan Tanah Dengan Metode Sand Compaction Pile Pada Tanah Rawa (Studi Kasus: Jalan Tol Manado Bitung Sulut),” *Jurnal Sipil Statik*, 5(6), hal. 357–362. Tersedia pada: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/16753>.
- Mulyono, Tri (2017). "Klasifikasi Tanah Modul 5: Mekanika Tanah dan Pondasi"(PDF). Jakarta: Program Studi D3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta
- Mustafayeva, Arailym, et al. (2023). "Mechanical Properties and Microscopic Mechanism of Basic Oxygen Furnace (BOF) Slag-Treated Clay Subgrades." *Buildings* 13.12 : 2962.
- Ocheme, J. I., Olagunju, S. O., Khamitov, R., Satyanaga, A., Kim, J., & Moon, S. W. (2023). Triaxial shear behavior of calcium sulfoaluminate (CSA)-treated sand under high confining pressures. *Geomechanics and Engineering*, 33(1), 41-51.
- Olagunju, Sakiru Olarewaju, et al. (2023). "Physical, mechanical, chemical, and environmental characterization of stockpiled BOF slag as railway ballast material." *Construction and Building Materials* 408 : 133613.
- Pavements, H. (2019) “Airfield and Highway Pavements 2019 255,” 3(Monteiro 2009), hal. 255–265.
- Saleh, Abdul Rachman, and Fuad Harwadi. "Stabilisasi Tanah Lempung Lunak dengan Abu Sekam Padi (RHA) dan Kapur (CaCO₃) di Kampung Satu Kota Tarakan." *Jurnal Teknik UBT* 1.1 (2017): 1-6.
- Xiaochao, T. dan Nordfors, I. (2020) “Geo-Congress 2020 GSP 315 582,” *Geo-Congress 2020 GSP*, (2016), hal. 582–591.
- Zhang, T., Cai, G. dan Liu, S. (2018) “Application of Lignin-Stabilized Silty Soil in Highway Subgrade: A Macroscale Laboratory Study,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(4), hal. 1–16. doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002203.
- Zhang, T., Cai, G. dan Liu, S. (2018) “Reclaimed Lignin-Stabilized Silty Soil: Undrained Shear Strength, Atterberg Limits, and Microstructure Characteristics,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(11), hal. 1–9. doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002492.
- Zhang, X. et al. (2020) “Shakedown Behavior of Yellow River Alluvial Silt Stabilized with Lignin–Lime Combined Additive,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(1),

hal. 1–10. doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002954.

Zheng, C., Yang, Q. dan Huang, J. (2019) “Lignin with and without Polymerization for Soil Stabilization,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(12). doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002935.