

## PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR PADA KUAT GESER TANAH YANG TERKONTAMINASI AIR LINDI

Satia Dwi Nugraha\*, Anto Budi Listyawan, Muhammad Anwar Arifin

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A . Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta

\*Email: [d100190137@student.ums.ac.id](mailto:d100190137@student.ums.ac.id)

### Abstrak

Ada beberapa permasalahan tentang tanah yang sering dijumpai disebabkan oleh sifat-sifat fisis dan mekanis tanah yang buruk. Salah satu dari jenis tanah yang mempunyai sifat fisis dan mekanis yang buruk adalah tanah yang telah terkontaminasi air lindi ( leachate ). Berdasarkan permasalahan di atas maka penelitian ini akan mengkaji tentang pengaruh penambahan kapur pada kuat geser tanah yang terkontaminasi air lindi (leachate). Penelitian ini dilakukan pada tanah terkontaminasi air lindi sebesar 5% yang didiamkan selama 3 hari kemudian dicampurkan kapur dengan persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar air dan massa jenis mengalami penurunan. Untuk batas Atterberg nilai LL dan PI mengalami penurunan sedangkan PL dan SL mengalami kenaikan, dan untuk analisa ayakan menunjukkan adanya penurunan tanah lolos saringan no 200. Klasifikasi tanah pada penelitian ini menurut AASHTO meliputi golongan A-6 sampai dengan A-7-6 dan menurut USCS meliputi golongan CH dan MH. Pada saat pengujian Standar Proctor , nilai  $\omega_{opt}$  akan berkurang sedangkan nilai  $\gamma_{dmax}$  akan meningkat. Dari penelitian ini mendapatkan nilai DST dengan tanah lempung asli sebesar kohesi 1,08 kg/cm<sup>2</sup>, pada nilai DST Ketika tanah lempung asli ditambah air lindi sebanyak 5% didapat nilai kohesi sebesar 0,99 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan apabila pengujian DST pada tanah lempung yang terkontaminasi air lindi di stabilisasi dengan kapur didapat nilai kohesi terkecil pada variasi 2,5% dengan nilai kohesi 1,11 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kohesi terbesar terdapat pada variasi 10% dengan nilai kohesi 1,24 kg/cm<sup>2</sup>

**Kata Kunci :** Air Lindi, DST, Kapur Padam, Stabilisasi, Tanah Lempung

### Abstract

There are several problems about soil that are often encountered are caused by poor physical and mechanical properties of the soil. One of the types of soil that has poor physical and mechanical properties is soil that has been contaminated with leachate. Based on the above problems, this research will examine the effect of addition of lime on the shear strength of soil contaminated with leachate. This research was conducted on soil contaminated with 5% leachate water which was allowed to stand for 3 days. then mixed with lime with percentages of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10%. Research results. The results showed that the value of water content and density decreased. For Atterberg limit Atterberg limit, the LL and PI values decreased while PL and SL increased, and the sieve analysis showed a decrease in the soil. increase, and for sieve analysis shows a decrease in soil passing sieve no. 200. The soil classification in this study according to AASHTO includes groups A-6 to AASHTO. AASHTO includes groups A-6 to A-7-6 and according to USCS includes CH and MH groups. During the standard proctor test, the  $\omega_{opt}$  value will decrease while the  $\gamma_{dmax}$  value will increase. Decrease while the value of  $\gamma_{dmax}$  will increase. From the study, it was found that the DST value with the original clay soil was 1.08 kg/cm<sup>2</sup> cohesion, at the DST value when the original clay soil plus leachate water as much as 5% obtained a cohesion value of 0.99 kg/cm<sup>2</sup>, while when testing DST on clay soil contaminated with leachate water stabilized with lime, the smallest cohesion value was obtained in the 2.5% variation with a cohesion value of 1.11 kg/cm<sup>2</sup>, while the largest cohesion value was in the 10% variation with a cohesion value of 1.24 kg/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Leachate, DST, Extinguished Lime, Stabilization, Clay Soil

## 1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan suatu pendukung sebuah bangunan. Ada beberapa macam jenis tanah yang dapat dibedakan dengan besar butiran berdasarkan kepada analisa ayakan, yang pertama adalah pasir yang merupakan tanah dengan butiran yang kasar, kemudian ada lanau yang

merupakan tanah dengan butiran kecil dan bersifat mudah menyerap air. Lalu ada lempung yang bisa disebut tanah liat, yang merupakan tanah dengan butiran sangat halus bersifat plastis, mudah dibentuk, dan mempunyai daya lekat secara alami, tanah lempung terbentuk dari pelapukan batuan granit dan batuan beku.

Ada beberapa permasalahan tentang tanah yang sering dijumpai disebabkan oleh sifat-sifat fisis dan mekanis tanah yang buruk. Salah satu dari jenis tanah yang mempunyai sifat fisis dan mekanis yang buruk adalah tanah yang telah terkontaminasi air lindi (*leachate*). Tanah yang sangat plastis dapat menyebabkan kerusakan pada struktur. Misalnya pada daerah di Troketon, Pedan, Klaten beberapa rumah terjadi pergeseran pondasi sehingga menyebabkan kerusakan pada rumah seperti pada dinding, retak, dan elevasi rumah tidak rata (Risvi, 2018) mengatakan tanah di desa Troketon mempunyai LL 74,9%, nilai PL 25,75%, nilai SL 28,74% dan nilai PI 49,15%. Tanah tersebut harus diperbaiki sifat-sifatnya untuk memenuhi standar yang dipersyaratkan agar tidak terjadi keretakan dan kerusakan bangunan yang ada di atasnya. Oleh karena itu, tanah lempung yang berada di daerah Troketon, Pedan, Klaten perlu dilakukan perbaikan agar mampu menopang bangunan di atasnya dilakukan perbaikan tanah yaitu stabilisasi.

Air lindi dapat menurunkan kualitas tanah pada saat terjadi hujan, air hujan akan masuk dan meresap ke dalam tumpukan sampah yang kemudian membawa zat-zat berbahaya dengan kepekatan zat pencemar tinggi. Kemudian air lindi masuk ke dalam tanah yang dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah. Sehingga tanah yang terkontaminasi air lindi menjadi kurang baik untuk mendirikan bangunan di atasnya.

Menurut Susanto (2004) air lindi dapat meresap ke dalam tanah yang menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung karena dalam lindi terdapat berbagai senyawa kimia dan organik serta sejumlah *patogen*.

Air lindi (*leachate*) akan dapat mempengaruhi sifat fisis dan mekanis pada tanah yang terkontaminasi air lindi. Huda (2010) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pada sifat fisis tanah, semakin besar persentase lindi yang dicampurkan pada tanah mengakibatkan Indeks Plastis (PI) tanah mengalami peningkatan. Berarti kualitas tanah menjadi kurang baik. Pada sifat mekanis tanah, koefisien permeabilitas ( $k$ ) dan kuat tekan bebas tanah mengalami penurunan sehingga menjadi lebih kecil dari pada tanah yang tidak terkontaminasi air lindi. Dikarenakan air lindi mengandung bahan-bahan kimia yang dapat merusak struktur dan susunan butiran tanah yang telah didapatkan sebelumnya.

Berdasarkan permasalahan disebutkan sebelumnya, maka dilakukan penelitian untuk menganalisis sifat fisis dan sifat mekanis tanah lempung yang terkontaminasi air lindi. Sifat fisis

tanah yang diuji meliputi kadar air tanah, berat jenis, berat volume, batas-batas *Atterberg*, dan gradasi butiran. Sedangkan sifat mekanis yang diuji adalah pemadatan *Standard Proctor* dan kuat geser tanah.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butiran-butiran tanah terhadap desakan atau tarikan. Pengujian kuat geser langsung adalah untuk menentukan kuat geser tanah setelah mengalami konsolidasi akibat suatu beban. Perhitungan mekanika tanah kuat geser ini bisa dinyatakan dengan kohesi ( $C$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ).

Aji (2016) menyatakan bahwa teori yang dipakai dalam menentukan kekuatan geser tanah umumnya adalah metode *Mohr-Coloumb*. *Mohr* dan *Coloumb* menyatakan bahwa kekuatan geser tanah ( $\tau$ ) merupakan fungsi dari kohesi dan sudut gesek dalam tanah. Kekuatan geser tanah dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

dengan:

$\tau$  = Kuat Geser Tanah ( $\text{kg/cm}^2$ )

$c$  = Kohesi Tanah ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma$  = Tegangan Normal pada Bidang Runtuh ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\phi$  = Sudut Gesek Dalam Tanah atau Sudut Gesek Internal (derajat)

Pada saat pengujian kuat geser, tegangan normal dan tegangan geser dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (3)$$

dengan:

$\sigma$  = Tegangan Normal ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\tau$  = Tegangan Geser ( $\text{kg/cm}^2$ )

$N$  = Beban Normal (kg)

$P$  = Beban Geser (kg)

$A$  = Luas Penampang ( $\text{cm}^2$ )

Penelitian yang pernah dilakukan dan menjadi referensi dalam penulisan penelitian ini antara lain:

Bachtiar (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan pengujian kuat geser langsung (DST). Hasil penelitian ini menyatakan tentang penambahan persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% arang dan 5% kapur bahwa nilai kohesi dan sudut gesek dalam cenderung baik.

Nilai kohesi terbesar adalah 1,236% kg/cm<sup>2</sup> dan nilai sudut gesek dalam terbesar adalah 21,10°. Nilai tegangan normal 4,47 kg/cm<sup>2</sup> dengan tegangan geser cenderung mengalami kenaikan. Perbedaan yang didapat dari penelitian ini yaitu penggunaan tanah lempung. Bahan campuran untuk stabilisasi yaitu arang dengan persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan kapur 5%.

Berlin dkk. (2021) pada penelitian ini menggunakan pengujian kuat gesek langsung (DST). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah gambut di daerah Jalan Soekarno Palangka Raya memiliki kadar air sebesar 262,53%, kadar serat sebesar 19,05%, berat jenis sebesar 1,26, dan berat volume sebesar 1,24 g/cm<sup>3</sup>. Hasil pengujian geser langsung pada tanah langsung didapatkan nilai kohesi sebesar 0,039 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai sudut geser sebesar 2,06°. Penambahan campuran abu ampas tebu dan kapur pada tanah asli mengakibatkan nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam cenderung mengalami peningkatan di setiap penambahan variasi campuran. Perbedaan pada penelitian yakni sampel tanah yang digunakan hanya tanah gambut. Bahan campuran untuk stabilisasi adalah abu ampas tebu dengan variasi 3%, 6% dan 12% ditambah kapur 8%.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menguji sifat fisis dan sifat mekanis tanah lempung yang terkontaminasi air lindi. Sampel tanah berasal dari Desa Troketon Kecamatan Pedan Kabupaten Klaten, air lindi berasal juga dari TPA Troketon, Pedan, Klaten dan bahan stabilisasi berupa kapur padam (Ca(OH)<sub>2</sub>). Sifat fisis tanah meliputi kadar air tanah, berat jenis, berat volume, batas-batas *Atterberg*, dan gradasi butiran. sifat mekanis yang diuji adalah pemadatan *standart proctor* dan kuat geser tanah. Agar penelitian yang dilakukan berjalan secara berurutan dari awal sampai akhir, maka penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap, yaitu:

Tahap pertama dimulai dengan mempersiapkan sampel tanah, kapur, dan air lindi. Pengambilan sampel tanah dengan lolos saringan No.4 (4,75 mm) dalam kondisi kering udara. Pengambilan air lindi sebanyak 5% dari berat sampel tanah kemudian campuran dengan tanah di dalam plastik dan ditutup rapat selama tiga hari, setelah itu tanah dikeringkan.

Pada tahap kedua dilakukan pengujian sifat fisis tanah yang terkontaminasi air lindi sebanyak 5% dan dicampur kapur dengan persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, yang meliputi uji kadar air, berat jenis, batas-batas *Atterberg* (*liquid limit*, *plastic limit*, dan *shrinkage limit*) dan analisa ukuran butiran. Setelah itu dilakukan uji sifat

mekanis tanah dengan metode *standard proctor* untuk mendapatkan kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Sampel untuk uji (DST) berdasarkan dari kadar optimum yang diperoleh dari pengujian kepadatan tanah.

Pada tahap ketiga dilakukan pembuatan sampel untuk pengujian (DST) dengan penambahan air berdasarkan dari kadar air optimum yang diperoleh dari pengujian kepadatan tanah. Sampel yang telah dibuat akan direndam selama 1 hari. Kemudian setelah 1 hari akan dilakukan pengujian DST.

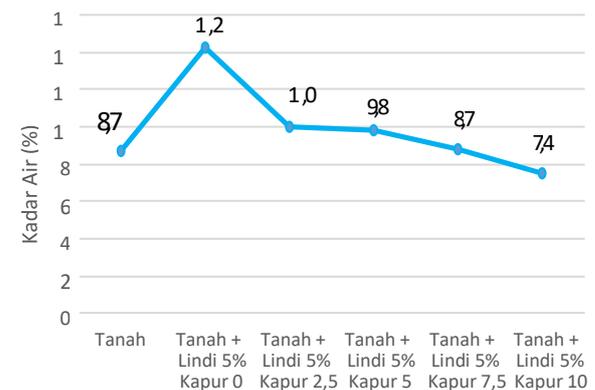
Pada tahap terakhir ini dilakukan analisa data dan pembahasan dari hasil pengujian pada tahap kedua dan ketiga sehingga dapat diambil kesimpulan dan saran pada penelitian ini.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengujian Sifat Fisis Tanah

#### 3.1.1 Pengujian kadar air

Pengujian kadar air tanah dilakukan pada tanah asli, tanah terkontaminasi air lindi, dan tanah terkontaminasi air lindi yang distabilisasi dengan kapur padam dengan nilai kadar air kapur padam 1,29%. Hasil pengujian kadar air tanah dapat dilihat pada Gambar 1.



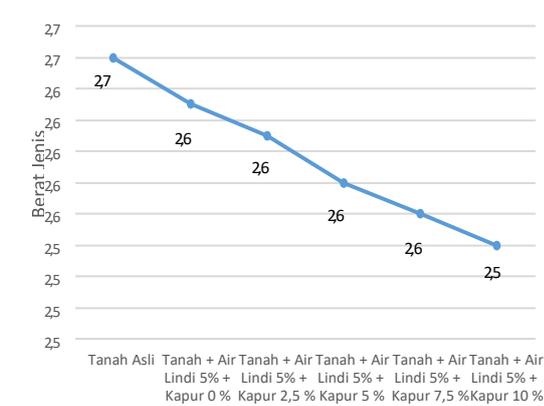
**Gambar 1. Hubungan antara persen penambahan kapur padam yang terkontaminasi air lindi dan kadar air**

Berdasarkan hasil kadar air diketahui terjadi peningkatan pada variasi tanah + air lindi 5% + kapur 0%, kemudian berangsur-angsur menurun ketika masuk variasi tanah + lindi + kapur 2,5% hingga terjadi perubahan tanah. + 5% air lindi + 10% kapur%. Tanah yang terkontaminasi air lindi dapat meningkatkan kadar airnya karena permukaan partikel tanah membuat tanah menjadi basah sehingga tidak dapat terjadi penguapan, dan kandungan kimia pada air lindi dapat menyebabkan kerusakan pada tanah, semakin lama proses pelapukan maka

partikel tanah akan semakin halus. Saat partikel terbentuk, partikel halus mempunyai daya tarik yang lebih kuat terhadap air (Alhassan, 2012). Sedangkan tanah yang dicampur kapur yang direndam akan turun karena nilai kadar air kapur lebih rendah dari tanah asli yaitu sebesar 1,29%.

### 3.1.2 Pengujian berat jenis (*specific gravity*)

Pengujian berat jenis tanah dilakukan pada tanah asli, tanah terkontaminasi air lindi, dan tanah terkontaminasi air lindi yang distabilisasi dengan kapur. Hasil uji kepadatan spesifik dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 3.2. Hubungan antara persen penambahan kapur padam yang terkontaminasi air lindi dan berat jenis**

Berdasarkan hasil berat jenis diketahui terjadi penurunan pada variasi tanah + air lindi 5% + kapur 0% sampai pada variasi tanah + air lindi 5% + kapur 10%. Menurunnya berat jenis pada tanah yang terkontaminasi air lindi disebabkan oleh adanya reaksi pada air lindi yang menyebabkan partikel tanah mengalami pelapukan, sehingga berat partikel per satuan volume menjadi lebih kecil. Penurunan berat jenis juga terjadi pada penambahan kapur, hal ini disebabkan adanya perbedaan nilai berat jenis kedua bahan tersebut, dimana nilai berat jenis kapur padam lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis tanah aslinya yaitu berat jenis sebesar 2,298.

### 3.1.3 Pengujian batas-batas *Atterberg*

Batas-batas *Atterberg* adalah batas konsisten di mana suatu keadaan tanah melewati keadaan lain dan terdiri atas batas cair, batas plastisitas, dan indeks plastisitas. Hasil uji batas *Atterberg* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1**  
**Hasil pengujian batas batas *Atterberg***

Variasi Tanah	LL	PL	SL	PI
Tanah Asli	78,17	30,33	24,25	47,84
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 0 %	84,55	28,96	21,57	55,59
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 2,5 %	75,28	37,33	26,90	37,95
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 5 %	70,79	38,89	28,70	31,90
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 7,5 %	64,39	39,13	30,79	25,25
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 10 %	59,72	39,67	31,24	20,05

Berdasarkan hasil batas *Atterberg* diketahui nilai PI meningkat pada variasi tanah + 5% air lindi + 0% kapur, kemudian berangsur-angsur menurun ketika memasuki pada variasi tanah + air lindi + 2,5% kapur sampai pada variasi tanah + 5% air lindi + 10% kapur. Dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan air lindi maka nilai PI akan meningkat, hal ini mungkin terjadi karena adanya perubahan pori-pori tanah, sifat asam lindi yang melewati pori-pori tanah cenderung menghancurkan partikel-partikel tanah. Dan disimpulkan juga bahwa semakin banyak campuran kapur yang ditambahkan maka nilai PI akan semakin menurun karena kapur yang bercampur dengan partikel mineral lempung bereaksi membentuk kalsium silikat, yaitu gel keras yang mengikat partikel tanah. Gel silika melapisi dan mengikat partikel tanah serta menutup pori-pori tanah. Hal ini menyebabkan penurunan indeks plastisitas dan batas cair.

- Nilai Batas Cair (LL) dimana nilai tanah lempung asli sebesar 78,17% dan terjadi kenaikan dari penambahan air lindi sebesar 84,55% dan didapat nilai terendah apabila air lindi dan kapur padam ditambahkan dari variasi 10%+5% nilai LL tersebut 59,72%. Hal ini dapat terjadi karena ukuran partikel tanah yang besar, Semakin besar ukuran partikel tanah maka gaya tarik menarik (gaya kohesif) antar partikel tanah semakin berkurang. Ketika kohesi tanah berkurang, partikel-partikel tanah dengan mudah terlepas dari ikatan tanah, sehingga mengurangi pembatasan cairan.
- Nilai Batas Plastis (PL) pada pengujian ini didapat pada tanah lempung asli sebesar 30,33% pada saat ditambahkan air lindi sebesar 5%+0% batas plastis tersebut mengalami penurunan 28,96% dan pada

ditambahkan varian air lindi dan kapur padam batas plastis mengalami kenaikan yang besar dengan nilai PL sebesar 39,67%. Pada hasil PL ditunjukkan bahwa ketika tanah lempung asli ditambahkan air lindi dan kapur padam tanah yang terkontaminasi mengalami penggumpalan sehingga butir-butiran tanah menjadi lebih besar menyebabkan nilai plastisitas tanah rendah.

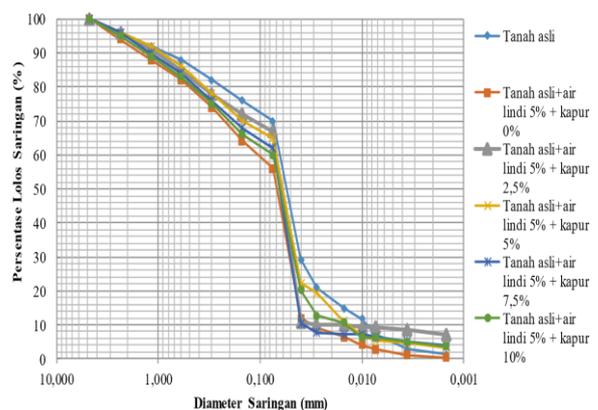
- c. Nilai Batas Susut (SL) pada pengujian pada tanah lempung asli didapat 24,25%, setelah ditambahkan bahan air lindi 5% terjadi penurunan 21,57% dan Ketika ditambahkan air lindi dan kapur padam sebesar 5%+10% terjadi kenaikan sebesar 31,24%. Ini menyebabkan sementasi atau *aglomerasi*, membuat partikel tanah menjadi lebih besar. Semakin besar partikel tanah maka semakin kurang sensitif terhadap perubahan kadar air. Berdasarkan hal tersebut, tanah tidak terlalu rentan terhadap perubahan volume dan penyusutan serta cenderung lebih stabil
- d. Nilai indeks Plastisitas (PI) besarnya nilai PI sangat dipengaruhi pada nilai LL dan PL. Hasil pada tanah lempung asli didapat 47,84%, Ketika tanah asli ditambahkan air lindi 5%+0% pada nilai LL-PL maka didapatkan nilai PI sebesar 55,59%, pada pengujian tanah lempung yang ditambahkan air lindi dan juga kapur padam 5%+10% didapat nilai PI sebesar 20,05%. Dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan air lindi maka nilai PI akan meningkat, hal ini mungkin terjadi karena adanya perubahan pori-pori tanah, sifat asam lindi yang melewati pori-pori tanah cenderung menghancurkan partikel-partikel tanah. Dan disimpulkan juga bahwa semakin banyak campuran kapur yang ditambahkan maka nilai PI akan semakin menurun karena kapur yang bercampur dengan partikel mineral lempung bereaksi membentuk kalsium silikat, yaitu gel keras yang mengikat partikel tanah. Gel silika melapisi dan mengikat partikel tanah serta menutup pori-pori tanah. Hal ini menyebabkan penurunan indeks plastisitas dan batas cair.

### 3.1.4 Pengujian analisa butiran tanah

Analisis saringan digunakan untuk mengetahui ukuran partikel tanah berbutir kasar, dilakukan pada sampel tanah yang kering. Analisis saringan digunakan untuk mengetahui ukuran partikel tanah berbutir kasar, dilakukan pada sampel tanah yang kering. Hasil analisis partikel tanah disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.**  
**Hasil pengujian analisa saringan tanah**

Nomor Saringan	Diameter (mm)	Tanah asli	Lolos Saringan				
			Tanah asli+air lindi 5% + kapur 0%	Tanah asli+air lindi 5% + kapur 2,5%	Tanah asli+air lindi 5% + kapur 5%	Tanah asli+air lindi 5%+kapur 7,5%	Tanah asli+air lindi 5% + kapur 10%
4	4,750	100	100	100	100	100	100
8	2,360	96	98	96	96	96	95
16	1,180	92	96	91	92	90	89
30	0,600	88	90	85	86	84	83
50	0,300	82	84	78	78	76	75
100	0,150	76	76	72	70	68	66
200	0,075	70	72	67	65	62	60
Hidrometer	0,040	29,12	15,37	10,61	22,16	10,42	20
	0,028	20,85	11,47	9,89	19,36	7,77	13
	0,015	14,82	8,35	9,89	10,98	7,10	11
	0,010	11,81	5,23	9,17	6,78	7,10	6
	0,0074	7,30	3,59	9,17	5,38	6,44	6
	0,0036	2,78	1,33	8,45	4,68	5,11	5
	0,0015	1,28	0,55	7,00	3,29	3,78	4
pan	0	0	0	0	0	0	



**Gambar 3. Hubungan antara diameter saringan dan persentase lolos saringan**

Dari Tabel 2 pengujian analisa butiran tanah untuk tanah asli diperoleh hasil sebesar 70% lolos saringan no 200, sedangkan pada variasi tanah + air lindi 5% + kapur 0% meningkat menjadi 72% kemudian menurun ketika memasuki pada variasi tanah + air lindi + 2,5% kapur sampai pada variasi tanah + 5% air lindi + 10% kapur 67%, 65%, 62% dan 60%.

Apabila tanah tercampur dengan air lindi maka akan terjadi reaksi kimia pada air lindi yang menyebabkan partikel-partikel tanah tersebut mengalami pelapukan, sehingga massa partikel per satuan volume menjadi lebih kecil sehingga tanah dapat lolos saringan No.200 akan menjadi banyak. Sedangkan ketika tanah dicampur dengan kapur terjadi perubahan struktur tanah, partikel-partikel tanah menjadi menggumpal, sehingga ukuran partikel tanah menjadi lebih besar sehingga menyebabkan tanah yang lolos saringan No.200 semakin sedikit.

### 3.1.5 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan hasil analisis distribusi partikel dan batas *Atterberg*, tanah dapat diklasifikasikan ke dalam banyak kelompok yang

terdapat dalam sistem klasifikasi tanah, antara lain USCS (*Unified Soil Classification System*) dan sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3**  
**Hasil analisa klasifikasi tanah**

Variasi Tanah	LL %	LLR %	PI %	Lolos Saringan n Gr no. 200 %	oup Indek GI	Klasifikasi AASHTO	Tanah USCS
Tanah Asli	78,99	1,13	48,67	70	35,09	A-7-5	CH
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 0%	82,71	1,11	53,75	72	40,24	A-7-6	CH
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 2,5%	75,71	1,12	38,38	67	26,87	A-7-5	CH
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 5%	70,89	1,18	32,00	65	21,63	A-7-5	MH
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 7,5%	65,19	1,24	26,05	62	16,34	A-7-5	MH
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 10%	60,79	1,25	21,12	60	12,60	A-6	MH

Berdasarkan tabel klasifikasi tanah AASHTO, tanah asli dan tanah campuran air lindi 5% + kapur 2,5%, 5%, 7,5% tergolong dalam kelompok A-7-5, yaitu jenis tanah lempung dengan penilaian umum sebagai tanah dasar sedang sampai buruk, hal ini terjadi karena lolos saringan No. 200 > 36%, nilai GI > 20, nilai batas cair (LL) > 41%, nilai indeks plastisitas (PI) ≤ LL-30. Pada campuran tanah + air lindi 5% + kapur 0% termasuk golongan A-7-6 merupakan tanah lempung dan umumnya dinilai sebagai tanah basa dari sedang hingga buruk, hal ini dikarenakan tanah lolos saringan No. 200 > 36%, nilai GI > 20, nilai batas cair (LL) > 41%, nilai indeks plastisitas (PI) > LL-30. Sedangkan pada campuran tanah + air lindi 5% + kapur 10% termasuk golongan A-6 yang merupakan tanah lempung dengan indeks tanah secara umum dari sedang sampai buruk, hal ini dikarenakan tanah lolos saringan No.200 > 36% nilai GI ≤ 16, nilai batas cair (LL) > 41%, nilai indeks plastisitas (PI) > 11.

Berdasarkan metode USCS tanah asli dan tanah yang dicampur air lindi 5% + kapur 0% dan 2,5% termasuk dalam golongan CH, yaitu tanah berjenis lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Sedangkan tanah yang bercampur dengan air lindi 5% + kapur 5%, 7,5%, dan 10% tergolong golongan MH, yaitu tanah berjenis lanau anorganik dengan plastisitas tinggi. Hal ini

disebabkan karena tanah asli dan tanah campuran air lindi 5% + kapur 0% dan 2,5% lolos saringan No. 200 > 50%, batas cair (LL) > 50%, dapat dilihat pada diagram plastisitas PI dan LL di atas garis A, sedangkan tanah campuran air lindi 5% + kapur 5%, 7,5 dan 10% lolos saringan No.200 > 50%, batas cair (LL) > 50%, dan dapat dilihat pada diagram plastisitas PI dan LL di bawah garis A juga hasil menunjukkan nilai LLR > 0,75.

## 3.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

### 3.2.1 Pengujian pemadatan (*standar proctor*)

Pemadatan merupakan pengujian untuk memperoleh kadar air optimum  $\omega_{opt}$  (*optimum moisture content*) dan kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{dmaks}$ ). Hasil pengujian pemadatan sebagai berikut.

**Tabel 4**  
**Hasil pengujian pemadatan (*standar proctor*)**

Variasi Tanah	$\omega_{opt}$ (%)	$\gamma_{dmaks}$ (gr/cm <sup>2</sup> )
Tanah Asli	23,00	1,39
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 0 %	25,00	1,36
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 2,5 %	22,50	1,43
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 5 %	21,50	1,47
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 7,5 %	20,00	1,48
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 10 %	19,50	1,49

Berdasarkan Tabel 4 hasil pengujian menunjukkan nilai  $\omega_{opt}$  meningkat pada saat variasi tanah + 5% air lindi + 0% kapur, dan kemudian terjadi penurunan ketika memasuki pada variasi tanah + air lindi + kapur 2,5% sampai pada variasi tanah + air lindi 5% + kapur 10%. Sedangkan nilai  $\gamma_{dmaks}$  mengalami penurunan pada variasi tanah + air lindi 5% + kapur 0%, kemudian terjadi kenaikan pada variasi tanah + air lindi + kapur 2,5% sampai pada variasi tanah + air lindi 5% + kapur 10%. Dapat disimpulkan bahwa nilai  $\omega_{opt}$  dan  $\gamma_{dmaks}$  berbanding terbalik, yaitu dengan penambahan air lindi maka nilai  $\omega_{opt}$  akan mengalami kenaikan sedangkan nilai  $\gamma_{dmaks}$  akan menurun. Begitu pula sebaliknya bila ditambahkan kapur padam maka nilai  $\omega_{opt}$  akan menurun sedangkan nilai  $\gamma_{dmaks}$  mengalami kenaikan.

Menurut Harun (2013), kandungan pada air lindi dapat menaikkan kejenuhan tanah, sehingga menyebabkan tanah menjadi lebih encer dan menurunkan kepadatan kering maksimum. Selain itu, semakin lama waktu

kontaminasi maka semakin tinggi juga kejenuhan dan kadar air dalam tanah, mengakibatkan nilai kepadatan kering maksimum semakin berkurang. Hal ini berhubungan dengan sifat air lindi yang mengakibatkan mengecilkan partikel tanah.

Proses sementasi pada tanah dan kapur membentuk gumpalan antar partikel, rongga-rongga pori yang telah ada Sebagian akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras dan lebih sulit ditembus air. Rongga-rongga pori yang terisolir dengan lapisan sementasi kedap air akan terukur sebagai volume butiran dan selanjutnya mampu menurunkan kadar air optimum ( $\omega_{opt}$ ) dan meningkatkan kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{dmaks}$ ).

### 3.2.2 Pengujian DST

Pengujian DST menggunakan pengujian di laboratorium. Hasil pengujian DST yang telah dilakukan dapat dilihat pada nilai sudut gesek, kohesi, nilai tegangan normal dan tegangan Geser tanah.

a. Nilai sudut gesek dalam dan kohesi

**Tabel 5**  
**Hasil pengujian DST**

Variasi Tanah	Nilai DST	
	Sudut Gesek Dalam	Kohesi
Tanah Asli	21,373	1,084
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 0 %	18,947	0,991
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 2,5 %	22,724	1,106
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 5 %	23,391	1,132
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 7,5 %	24,703	1,171
Tanah + Air Lindi 5% + Kapur 10 %	25,669	1,241

Dari Tabel 5, hasil pengujian menunjukkan nilai kohesi (c) mengalami kenaikan dari tanah lempung asli menunjukkan nilai kohesi sebesar 1,084 kg/cm<sup>2</sup>, Ketika ditambahkan lindi sebesar 5% nilai kohesi tersebut mengalami penurunan 0,991 kg/cm<sup>2</sup> dan ketika ditambahkan lindi dan kapur padam dengan persentase campuran tertinggi lindi 5%+kapur 10% mengalami kenaikan dengan nilai kohesi 1,241 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai kohesi meningkat terjadi ketika tanah dalam keadaan tidak jenuh sehingga menyebabkan peningkatan kohesi peristiwa tersebut dinamakan kohesi semu.

Pada pengujian sudut gesek dalam nilai pada tanah lempung ditambahkan bahan stabilisasi menunjukkan terjadinya kenaikan dimana nilai sudut gesek dalam tanah asli sebesar 21,373<sup>0</sup>, pada penambahan lindi 5% nilai sudut gesek dalam 18,974<sup>0</sup>, ketika tanah asli ditambahkan lindi dan kapur padam dengan persentase penambahan tertinggi 5%+10% nilai

sudut gesek dalam sebesar 25,669<sup>0</sup>. Peningkatan sudut gesek dalam terjadi apabila penambahan kapur padam menghasilkan partikel tanah yang lebih besar sehingga meningkatkan partikel pada tanah tersebut.

b. Nilai tegangan normal dan tegangan geser tanah

**Tabel 6**  
**Hasil nilai tegangan normal dan tegangan geser tanah pada penambahan bahan stabilisasi**

Variasi Tanah	Tegangan Normal	Tegangan Geser
	$\sigma$ kg/cm <sup>2</sup>	$\tau$ kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli	0,59	3,48
Tanah + Lindi 5% + Kapur 0 %	0,59	3,18
Tanah + Lindi 5% + Kapur 2,5 %	0,59	3,57
Tanah + Lindi 5% + Kapur 5 %	0,59	3,65
Tanah + Lindi 5% + Kapur 7,5 %	0,59	3,79
Tanah + Lindi 5% + Kapur 10 %	0,59	4,01

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai tegangan geser ( $\tau$ ) mengalami peningkatan dengan seiring penambahan air lindi dan kapur. Nilai tegangan normal ( $\sigma$ ) tanah asli diperoleh sebesar 0,59 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai tegangan geser ( $\tau$ ) tanah asli diperoleh sebesar 3,48 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai tegangan geser maksimum ( $\tau$ ) pada takaran penambahan kapur 10% adalah 4,01 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai tegangan geser tanah campuran biasanya lebih tinggi dibandingkan tegangan geser tanah asli karena sudut gesek dalam tanah campuran semakin besar seiring dengan bertambahnya persentase campuran kapur padam. Semakin besar sudut gesek dalam, semakin besar tegangan geser material tersebut dan semakin baik material tersebut menahan tegangan luar yang diberikan padanya.

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

- Berdasarkan pengujian hasil laboratorium dapat disimpulkan penambahan air lindi dapat meningkatkan nilai kadar air, berat jenis dan nilai batas *Atterberg*.
- Berdasarkan pengujian hasil laboratorium disimpulkan nilai berat jenis dari penelitian ini termasuk kedalam jenis tanah lempung tak organik.

3. Dari pengujian analisa butiran tanah dapat disimpulkan pada saat penambahan air lindi akan terjadi kenaikan persentase lolos saringan No.200 dan kemudian terjadi penurunan ketika memasuki variasi pada saat penambahan kapur padam
4. Dari pengujian Standar Proctor dapat disimpulkan bahwa ketika menambahkan air lindi maka nilai OMC akan meningkat dan  $\gamma_d$  maks akan menurun dan semakin besar penambahan kapur padam maka nilai OMC akan menurun dan  $\gamma_d$  maks akan meningkat.
5. Berdasarkan pengujian DST di laboratorium dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan stabilisasi maka kohesi dan sudut geseknya bertambah besar. Dapat disimpulkan juga ketika terjadi penambahan air lindi sebesar 5% tanpa ditambahkan kapur padam maka nilai kohesi dan sudut geseknya akan menurun, sedangkan ketika menambahkan kapur padam maka nilai kohesi dan sudut geseknya akan semakin meningkat.

#### 4.2 SARAN

1. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu memahami langkah langkah ketika melakukan pengujian di laboratorium sehingga peneliti dapat benar dan mengerti dan apabila terjadi kesalahan dalam penelitian segera memperbaiki dengan benar.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu dan dapat mengembangkan penelitian ini supaya lebih berguna lagi bagi masyarakat.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat lebih mendalami dalam penelitian tentang air lindi dan dampak yang dapat ditimbulkan air lindi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alhassan, M. (2010). Effect of Municipal Solid Waste on The Characteristics of Soil. *International Journal of Environmental Science; Management and Engineering Research*, 204-210.
- Arief, & Latar Muhammad. (2016). Pengolahan Limbah Industri Dasar Dasar Pengetahuan dan Aplikasi di Tempat Kerja. *Andi Offset*.
- Ariyani, N., & Yuni, A. (2010). Pengaruh Penambahan Kapur Pada Tanah Lempung Ekspansif dari Dusun Bodrorejo Klaten. *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta*.
- Gunarso, A., Nuprayogi, R., & Partono, W. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Campuran Larutan NaOH 7,5%. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6, 238-245.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harun, Norliyana, S., Rahim, A., Sahibin, Rahman, A., Zulfahmi, . . . Tukminat. (2013). Effect of Leachate on Geotechnical Characteristics of Sandy Clay Soil. *AIP Conference Proceedings*, 530-536.
- Huda, N. A. (2010). Pengaruh Cairan Lindi (Leachate) Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Gampong Jawa Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Tanah. *Universitas Syiah Kuala*, 1-3.
- Kurniawan, D. (2019). Tinjauan Nilai Kuat Dukung Tanah Lempung Pedan Klaten yang Distabilisasi dengan Trass dan Kapur ( Studi Kasus Tanah Lempung Desa Troketon, Pedan, Klaten ). *eprint Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 1-20.
- Listyawan, A. B., Sugiyatno, Susanto, A., Wiqoyah, Q., & Yudhatama, I. (2023). Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung dengan Variasi Waktu Kontaminasi Air Lindi. *Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 348-355.
- Ranggaesa, R. A., & Zaika, Y. (2016). Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kekuatan dan Pengembangan (Swelling) Pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro. *Universitas Brawijaya*.
- Sansori, Gazali, A., & Adawiyah, R. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Lunak dengan Menggunakan Kapur Tohor dan Matos Ditinjau dari Nilai CBR Laboratorium.
- Sipangkar, S. O., Peslinof, M., & Fendriani, Y. (2023). Analisis Sifat Fisis Tanah pada Stabilisasi Tanah Lempung dengan Penambahan Kapur Tohor (CAO). *JlIF ( Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika )*, 78-89.