



## Pengaruh Penambahan Limbah Flue Gas Desulfurization Gypsum Terhadap Karakteristik Tanah Lempung

<sup>1</sup>Nova Dinda Lestari, <sup>2</sup>Yayuk Apriyanti, <sup>3</sup>Ferra Fahriani, <sup>4</sup>Endang S Hisyam, <sup>5</sup>Boy Dian Anugra Sandy

<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

\*Corresponding author: yayukapriyanti26@gmail.com

### Abstract

Clay soil is a type of soil that has problems because it has high plasticity, a low carrying capacity, and is prone to settlement. This soil condition can be found in the Hanging Tramble, Pangkalpinang City. This study aims to determine the effect of FGD waste gypsum on clay soils, the maximum value of soil shear strength, and the minimum value of soil consolidation settlement. The stabilizing agent used in this study was Flue Gas Desulfurization (FGD) waste gypsum with a mixture of 10%, 15%, and 20% FGD waste gypsum from the dry weight of the soil., for a total of 39 samples of the test object. Testing in this research uses Indonesian National Standards (SNI). The test results obtained the maximum value of the shear strength of the soil in the FGD waste variations of gypsum at 15%, which is 115.243 kN/m<sup>2</sup>, and in the 20% FGD gypsum waste mixture, the value of the shear strength of the soil decreased by 79.634 kN/m<sup>2</sup>. The minimum value for consolidation settlement was obtained from FGD waste variations (gypsum 20%), which is 0.683 cm. The calcium content influences the minimum value obtained for consolidation settlement in the FGD waste gypsum, which can bind soil minerals to increase soil strength. It can be concluded that the maximum soil shear strength value occurs in the 15% FGD waste mixed sample variation gypsum, while the minimum soil consolidation settlement value is in the 20% mixed FGD waste mixture gypsum.

*Keywords: FGD waste gypsum, soil shear strength, consolidation settlement, clay soil, soil characteristic*

### Abstrak

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang mempunyai masalah, karena memiliki plastisitas tinggi, daya dukungnya rendah dan mudah mengalami penurunan. Kondisi tanah seperti ini dapat ditemukan di Jerambah Gantung, Kota Pangkalpinang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah *Flue Gas Desulfurization* (FGD) *gypsum* terhadap tanah lempung dan untuk mengetahui nilai maksimum kuat geser tanah serta untuk mengetahui nilai minimum pada penurunan konsolidasi tanah. Bahan stabilisasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah FGD *gypsum* dengan variasi campuran 10%, 15%, dan 20% limbah FGD *gypsum* dari berat kering tanah, total sampel berjumlah 39 sampel benda uji. Pengujian pada penelitian ini menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil pengujian didapatkan nilai maksimum kuat geser tanah pada variasi limbah FGD *gypsum* 15% yaitu sebesar 115,243 kN/m<sup>2</sup>, kemudian pada campuran limbah FGD *gypsum* 20% nilai kuat geser tanah mengalami penurunan yaitu sebesar 79,634 kN/m<sup>2</sup>. Nilai minimum pada penurunan konsolidasi didapatkan pada variasi limbah FGD *gypsum* 20% yaitu 0,683 cm. Nilai minimum yang didapatkan pada penurunan konsolidasi dipengaruhi oleh kandungan kalsium pada limbah FGD *gypsum* yang dapat mengikat mineral tanah sehingga mampu meningkatkan kekuatan tanah. Dapat disimpulkan bahwa untuk nilai kuat geser tanah maksimum terjadi pada sampel variasi campuran 15% limbah FGD *gypsum*, sedangkan untuk nilai penurunan konsolidasi tanah minimum berada pada variasi campuran 20% limbah FGD *gypsum*.

Kata kunci: limbah FGD *gypsum*, kuat geser tanah, penurunan konsolidasi, tanah lempung, karakteristik tanah

### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024

## 1. Pendahuluan

Tanah merupakan salah satu bagian yang tidak dapat di pisahkan dalam perencanaan bangunan Teknik Sipil. Tanah yang baik untuk bangunan merupakan tanah yang memiliki daya dukung yang kuat sehingga beban yang bekerja di atas tanah tersebut mampu ditahan. Seringkali dijumpai kondisi tanah yang kurang baik yang akan dibangun untuk pembangunan pekerjaan konstruksi baik konstruksi jalan, jembatan dan gedung. Salah satu jenis tanah yang kurang baik ini adalah tanah lempung.

Dalam suatu pekerjaan konstruksi tanah lempung termasuk material yang kurang baik. Penurunan terjadi saat tanah mendapatkan beban di atasnya sehingga tekanan air pori akan naik dan air pori ke luar yang menyebabkan volume tanah berkurang. Hal ini sangat tidak menguntungkan jika tanah lempung digunakan untuk menopang suatu bangunan. Salah satu parameter untuk daya dukung tanah dan penurunan adalah kuat geser tanah dan konsolidasi tanah.

Salah satu usaha untuk meningkatkan daya dukung tanah dilakukan dengan cara stabilisasi tanah, stabilisasi tanah telah dilakukan oleh Maryati, 2016 [1] dilihat dari segi biaya yang dikeluarkan jika diaplikasikan dilapangan, penggunaan bahan *gypsum* lebih murah dibandingkan dengan menggunakan bahan semen, perbedaannya bisa sampai Rp.133.125.000,-. Stabilisasi menggunakan *gypsum* juga diteliti oleh Kusuma, 2018 [2] dengan hasil sangat baik, dimana pencampuran *gypsum* 10% dengan pemeraan selama 3 hari bisa meningkatkan nilai CBR sebesar 57,876% ,dengan hasil tersebut menunjukkan bahwa *gypsum* bisa digunakan

sebagai bahan stabilisasi. Untu, 2020 [3] dengan penambahan bahan jerami dan *gypsum* nilai cu semakin meningkat, peningkatan paling besar dipenambahan *gypsum* sebanyak 5%, persentase tersebut merupakan persentase terbesar sehingga untuk mengetahui nilai maksimumnya bisa dilakukan penelitian lebih lanjut dengan persentase lebih besar.

Dalam penelitian ini digunakan stabilisasi tanah secara kimiawi. Metode perbaikan tanah secara kimiawi yaitu menambahkan suatu bahan kimia dengan material tanah. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini untuk stabilisasi tanah yaitu limbah FGD *gypsum* yang di olah menjadi serbuk. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wibawa, 2015 [4] penambahan *gypsum* bisa meningkatkan nilai kohesi sebesar 380% dari tanah asli. Peningkatan nilai kohesi ini disebabkan karena *gypsum* mengandung kalsium dimana bisa mengikat partikel tanah terikat dengan kuat. Penelitian dengan *gypsum* juga dilakukan oleh Dewi, 2019 [5] bahan plafon *gypsum*, sangat mempengaruhi hasil nilai konsolidasi tanah semakin menurun, penurunan nilai tersebut dikarenakan plafon *gypsum* mengisi rongga tanah, sehingga tanahnya semakin padat, selain itu dipengaruhi oleh berat persentase limbah *gypsum*.

Merujuk penelitian Apriyanti, 2019 [6] penambahan limbah *gypsum* dan tahiing timah juga meningkatkan kuat geser tanah, dari nilai tersebut juga dengan peningkatan kekuatan tanah dasar. Landangkasiang, 2020 [7] juga menyampaikan hal yang sama tentang bahan *gypsum* berkontribusi terhadap peningkatan nilai tegangan geser pada campuran *gypsum* 15%. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh AZ-Zahra, 2020 [8] dengan penambahan

### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024

gypsum sebanyak 22% dapat meningkatkan kepadatan kering maksimum pada pengujian kepadatan berat.

Limbah FGD *gypsum* merupakan limbah yang dihasilkan dari proses peleburan timah yang dilakukan oleh perusahaan PT Timah Tbk, PT Timah, 2021 [9] Dalam proses biji timah tersebut menjadi logam timah tidak lain melalui proses peleburan, dimana peleburan tersebut juga menghasilkan limbah yaitu limbah FGD *gypsum*.

Salah satu usaha untuk mengatasi permasalahan limbah FGD *gypsum* maka limbah FGD *gypsum* yang di dapatkan dari PT Timah Tbk dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk stabilisasi tanah lempung agar tidak menumpuk di dump pile dan terolah. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah FGD *gypsum* terhadap karakteristik tanah lempung yang ditinjau dari nilai kuat geser tanah dan penurunan konsolidasi tanah lempung. Selain itu juga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa persentase limbah FGD *gypsum* yang digunakan untuk mendapatkan nilai maksimum kuat geser tanah dan nilai minimum penurunan konsolidasi tanah.

## 2. Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dilaboratorium. Proses penelitian ini dilakukan dengan tahapan awal adalah studi literatur dilanjutkan dengan survei lapangan. Selanjutnya adalah persiapan bahan dan alat. Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah tanah lempung dan limbah FGD *gypsum*

. Tanah lempung diambil dari Daerah jembatan jerambah gantung kota Pangkalpinang, Kepulauan Bangka Belitung. Bahan campuran yang disiapkan yaitu limbah FGD *gypsum* yang diperoleh dari proses peleburan timah yang dilakukan oleh perusahaan PT Timah Tbk. PT Timah Tbk. Limbah FGD *gypsum* dihancurkan sehingga menjadi serbuk. Persentase limbah FGD *gypsum* yang digunakan dengan variasi campuran 10%, 15%, dan 20% limbah FGD *gypsum* dari berat kering tanah, total sampel berjumlah 39 sampel benda uji. Bahan tambah atau bahan campuran limbah FGD *gypsum* kondisi kering dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Limbah FGD *gypsum* kondisi kering

Alat yang digunakan adalah alat pengujian kadar air lapangan, analisa saringan, batas-batas konsistensi (batas cair dan batas plastis), berat jenis, pemadatan, kuat geser langsung dan konsolidasi. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI), BSN, 2008 [10]. Klasifikasi tanah yang digunakan menggunakan klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification Sistem*). Data yang digunakan untuk klasifikasi tanah yaitu data analisa saringan dan batas-batas konsistensi (batas cair dan plastisitas limit). Pengujian Pemadatan menggunakan metode *modified proctor*. Data

### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024

yang dihasilkan dari pengujian pemadatan berupa kadar air optimum (OMC). Kadar air optimum yang didapat, digunakan sebagai kadar air pada saat pencampuran tanah lempung dengan bahan stabilisasi untuk benda uji pengujian kuat geser langsung dan konsolidasi. Dari pengujian kuat geser langsung didapat data kohesi dan sudut geser internal, baik tanah lempung maupun tanah lempung dengan campuran limbah FGD *gypsum*. Selanjutnya Dari nilai kohesi dan sudut geser internal dapat dihitung nilai kuat gesernya sebagai bahan analisis. Pengujian lainnya yaitu pengujian konsolidasi. Untuk mengetahui apakah limbah FGD *Gypsum* ini dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi maka nilai kuat geser tanah dan penurunan konsolidasi yang didapat dari pengujian tanah lempung dengan campuran limbah FGD *gypsum* dibandingkan dengan nilai dari pengujian tanah lempung tanpa bahan stabilisasi. Tahap akhir dari penelitian ini adalah menyimpulkan analisis yang telah didapat sesuai dengan data-data penelitian.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Uji Fisik Tanah

Tahap awal dari pengujian adalah pengujian sifat fisik tanah. Hasil pengujian sifat fisik tanah ini digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah dan sebagai data tambahan untuk pengujian selanjutnya. Hasil pengujian fisik tanah dirangkum pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian fisik tanah lempung tanpa campuran (asli)

No.	Hasil Pengujian Fisik Tanah	Persentase
1.	Lolos saringan no 200	59,96%
2.	Batas Cair	32,21%
3.	Batas Plastis	18,77%
4.	Indeks Plastisitas	13,43%
5.	Berat Jenis	2,650

#### 3.2. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah menggunakan sistem USCS didapatkan dari hasil pengujian sifat fisik tanah yang dapat dilihat pada Tabel 1 berupa pengujian analisa saringan, batas cair dan batas plastis, Hardiyatmo 2012 [11]. Hasil pengujian analisa saringan menunjukkan bahwa persentase tanah yang lolos saringan 200 sebanyak 59,96%, berdasarkan klasifikasi tanah USCS tanah yang diuji masuk kategori tanah berbutir halus. Hasil pengujian batas cair menunjukkan bahwa nilai batas cair yang didapat sebesar 32,21%. Hasil pengujian batas plastis menunjukkan bahwa nilai batas plastis didapat sebesar 18,77%. Dari data hasil pengujian batas cair dan batas plastis didapat nilai indeks plastisitas sebesar 13,43 %. Dari data hasil pengujian analisa saringan, data batas cair dan indeks plastisitas tanah bahwa tanah diuji termasuk dalam kelompok CL yaitu tanah dengan jenis lempung berlanau tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang.

#### 3.3. Hasil Pengujian Uji Geser Langsung

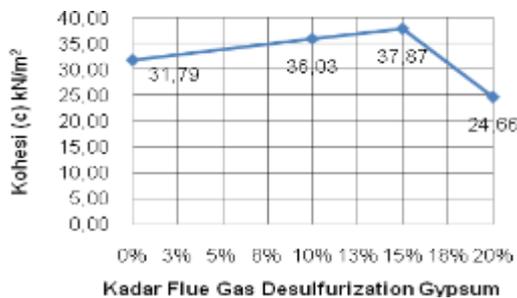
Pengujian geser langsung ini dilakukan pada benda uji tanah lempung tanpa campuran(asli) dan tanah lempung dengan bahan campuran limbah FGD *gypsum*.Kadar air yang digunakan

#### Informasi Artikel

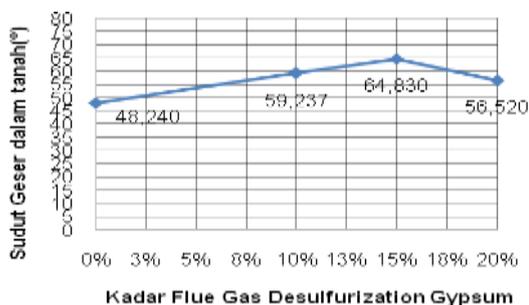
untuk tanah lempung dengan campuran limbah FGD *gypsum* didapat dari kadar air optimum (OMC) dari hasil pengujian pemadatan sebesar 30,17%. Hasil pengujian uji geser langsung didapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian fisik tanah lempung tanpa campuran (asli)

No	Benda Uji	Kohesi (kN/m <sup>2</sup> )	Sudut Geser (°)
1	TLA	31,789	48,240
2	TLA + 10% FGD <i>gypsum</i>	36,030	59,237
3	TLA + 15% FGD <i>gypsum</i>	37,869	64,830
4	TLA + 20% FGD <i>gypsum</i>	24,658	56,520



Gambar 2. Grafik hubungan kohesi dengan Kadar limbah FGD *gypsum*



Gambar 3. Grafik hubungan sudut geser dalam tanah dengan Kadar limbah FGD *gypsum*

Berdasarkan Tabel 2, Gambar 2 dan Gambar 3 nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah mengalami peningkatan dari tanah lempung tanpa campuran sampai dengan penambahan FGD *gypsum* 15%, peningkatan nilai ini terjadi karena butiran tanah lempung menjadi lebih rapat dibandingkan dengan tanah lempung tanpa campuran yang menunjukkan bahwa butiran tanah lempung tersebut menjadi lebih rapat dari sebelumnya. Campuran 20% FGD *gypsum* tanah mengalami penurunan hal ini terjadi karena kandungan dari CaO(kapur aktif) *gypsum* yang cepat menyerap air. Penurunan di 20% FGD *gypsum* terjadi karena sementasi yang di pengaruhi oleh *gypsum*, menyebabkan butiran tanah menjadi lebih besar yang mengakibatkan gesekan antara butiran semakin menurun Wiqoyah, 2016 [13].

### 3.4. Nilai Kuat Geser Tanah

Nilai kuat geser tanah didapat dari perhitungan menggunakan parameter nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat geser tanah lempung dengan penambahan limbah FGD *gypsum*

No	Hasil Pengujian	Kuat Geser Tanah (s)
	Jenis Tanah	kN/m <sup>2</sup>
1	TLA	72,512
2	TLA+ 10% FGD <i>gypsum</i>	97,115
3	TLA + 15% FGD <i>gypsum</i>	115,243
4	TLA + 20% FGD <i>gypsum</i>	79,634

Berdasarkan data dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai kuat geser mengalami peningkatan sampai campuran 15% limbah FGD *gypsum*, meningkatnya nilai kuat geser tanah ini karena meningkatnya nilai kohesi tanah yang telah dicampur *gypsum*, sehingga ikatan antara

### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024

butiran tanah semakin kuat yang mempengaruhi terhadap peningkatan nilai kuat geser tanah, ketika campuran 20% limbah FGD *gypsum* nilai kuat geser tanah mengalami penurunan karena tanah menjadi lunak diakibatkan oleh limbah FGD *gypsum* yang banyak menyerap air, sehingga ikatan antara butiran tanah dengan *gypsum* menjadi berkurang. Hal tersebut memberikan nilai kuat geser tanah menurun, sehingga disimpulkan penambahan limbah FGD *gypsum* yang terlalu banyak juga tidak memberikan dampak yang baik terhadap kuat tanah.

### 3.5. Hasil Pengujian Konsolidasi Tanah

#### Koefisien konsolidasi (Cv)

Perhitungan koefisien konsolidasi menggunakan metode akar waktu (Taylor, 1948) dengan cara menggambarkan hasil uji konsolidasi pada grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan tebal sampel, Hardiyatmo 2010 [12]. Hasil yang didapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Pada Tabel 4 dapat dilihat setelah ditambahkan dengan limbah FGD *gypsum* dengan kadar 10%, 15% dan 20% limbah FGD *gypsum* pencapaian waktu konsolidasi menjadi lebih cepat hingga mencapai waktu tercepat pada persentase penambahan 20% limbah FGD *gypsum* sebesar 1,228.

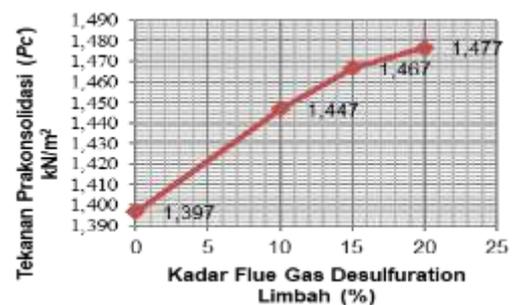
#### Tekanan Prakonsolidasi (Pc') dan Tekanan Overburden (Po')

Tekanan prakonsolidasi (Pc') ditentukan dengan menggunakan cara Cassagrande (1936) yang didapat dari grafik hubungan ( $e$ -log  $p'$ ). Berat material tanah dan air yang ada pada

suatu titik menyebabkan tekanan titik tersebut yaitu tekanan *overburden* (Po'). Tekanan Prakonsolidasi dan tekanan *overburden* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat geser tanah lempung dengan penambahan limbah FGD *gypsum*

No	Variasi	No	Waktu	Koefisien
	contoh	Contoh	(t90)	Konsolidasi (Cv)
1	Tanah Asli	I	1,365	0,042
		II	1,648	0,033
		III	1,533	0,038
	Rata-rata	<b>1,515</b>	<b>0,037</b>	
2	Variasi 10% FGD	I	1,240	0,044
		II	1,365	0,040
		III	1,648	0,033
	Rata-rata	<b>1,418</b>	<b>0,039</b>	
3	Variasi 15% FGD	I	1,406	0,042
		II	1,501	0,036
		III	1,328	0,041
	Rata-rata	<b>1,411</b>	<b>0,040</b>	
4	Variasi 20% FGD	I	1,251	0,043
		II	1,433	0,039
		III	1,000	0,051
	Rata-rata	<b>1,228</b>	<b>0,044</b>	



Gambar 4. Grafik hubungan tekanan prakonsolidasi (Po') dengan kadar limbah FGD *gypsum*

#### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024

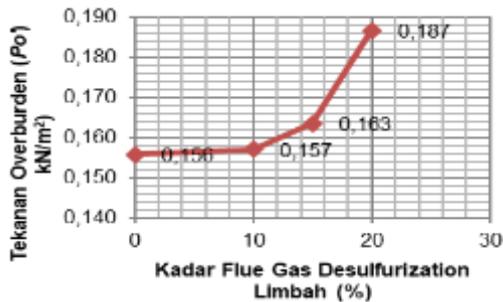
Tabel 5. Hasil pengujian konsolidasi tanah ( $P_c'$  &  $P_o'$ )

No	Variasi	No	Tekanan	Tekanan
			Prakonsolidasi ( $P_c'$ )	Overburden ( $P_o'$ )
			( $kN/m^2$ )	( $kN/m^2$ )
1	Tanah Asli	I	1,220	0,145
		II	1,470	0,150
		III	1,500	0,172
	Rata-rata	<b>1,397</b>	<b>0,156</b>	
2	Variasi 10% FGD	I	1,420	0,156
		II	1,450	0,155
		III	1,470	0,160
	Rata-rata	<b>1,447</b>	<b>0,157</b>	
3	Variasi 15% FGD	I	1,500	0,186
		II	1,450	0,155
		III	1,450	0,149
	Rata-rata	<b>1,467</b>	<b>0,163</b>	
4	Variasi 20% FGD	I	1,550	0,188
		II	1,560	0,188
		III	1,320	0,185
	Rata-rata	<b>1,477</b>	<b>0,187</b>	

\*Keterangan:

TLA : Tanah Lempung Asli

FGD : *Flue Gas Desulfurization*



Gambar 5. Grafik hubungan tekanan overburden ( $P_o'$ ) dengan kadar limbah FGD *gypsum*

Berdasarkan Tabel 5, Gambar 4, dan Gambar 5 dapat kita lihat bahwa tekanan prakonsolidasi ( $P_c'$ ) untuk tanah lempung yang telah dicampur dengan limbah FGD *gypsum*, lebih besar dari pada nilai tekanan overburden ( $P_o'$ ) ( $P_c' > P_o'$ ). Dari data ini dapat diketahui bahwa nilai OCR

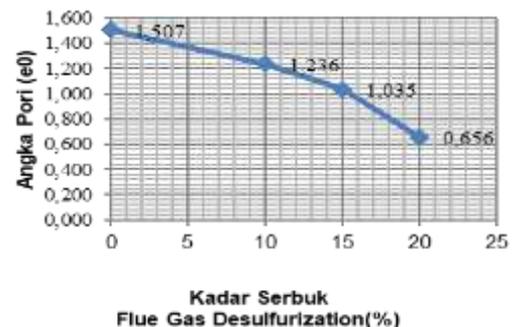
yang didapat lebih besar dari 1 karena tanah lempung berada pada kondisi *over consolidated*.

### Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) & Angka Pori ( $e_0$ )

Analisis yang dilakukan selanjutnya adalah analisis angka pori dan indeks pemampatan atau indeks kompresi ( $C_c$ ) yang hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai angka pori dan indeks kompresi ( $e_0$  &  $C_c$ )

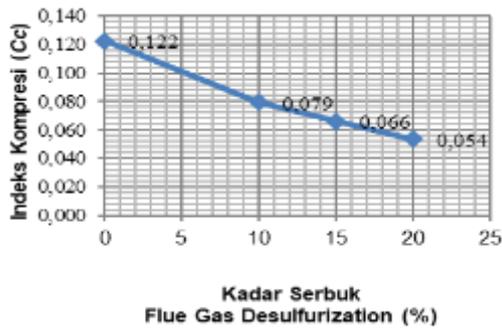
No	Variasi	No	Angka Pori	Indeks
			( $e_0$ )	Kompresi ( $C_c$ )
1	Tanah Asli	I	1,548	0,069
		II	1,523	0,190
		III	1,452	0,108
	Rata-rata	<b>1,507</b>	<b>0,122</b>	
2	Variasi 10% FGD	I	1,175	0,055
		II	1,193	0,095
		III	1,341	0,087
	Rata-rata	<b>1,236</b>	<b>0,079</b>	
3	Variasi 15% FGD	I	0,824	0,093
		II	1,188	0,048
		III	1,092	0,056
	Rata-rata	<b>1,035</b>	<b>0,066</b>	
4	Variasi 20% FGD	I	0,674	0,045
		II	0,622	0,070
		III	0,674	0,046
	Rata-rata	<b>0,656</b>	<b>0,054</b>	



Gambar 6. Grafik hubungan angka pori dengan persentase limbah FGD *gypsum*

### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024



Gambar 7. Grafik hubungan indeks pemampatan (Cc) dengan variasi campuran limbah FGD *gypsum*

Dari Tabel 6, Gambar 6, dan Gambar 7 dapat disimpulkan, Nilai angka pori mengalami penurunan dikarenakan rongga antar butiran tanah berkurang atau pori tanah semakin rapat, hal ini diakibatkan ada nya penambahan *gypsum* pada tanah yang terjadi sementasi, sehingga menyebabkan angka pori semakin menurun pada penambahan 20% limbah FGD *gypsum*.

Tanah lempung yang telah ditambahkan limbah FGD *gypsum* mengalami penurunan nilai indeks kompresi (Cc). Hal ini dapat dilihat dari nilai indeks kompresi (Cc) pada tanah lempung tanpa campuran sebesar 0,122 dan semakin menurun dengan bertambahnya persentase campuran limbah FGD *gypsum*, untuk campuran tanah lempung ditambah dengan 10% limbah FGD *gypsum* nilai indeks kompresi (Cc) menurun menjadi 0,079 dengan persentase penurunan sebesar 35,250%. Nilai indeks kompresi (Cc) menurun kembali menjadi 0,066 mengalami penurunan sebesar 46,040% dengan campuran tanah lempung ditambah dengan 15% limbah FGD *gypsum*, sedangkan pada campuran tanah lempung ditambah dengan 20% limbah FGD *gypsum* nilai indeks

kompresi (Cc) mengalami perubahan persentase yaitu 56,145% sehingga nilainya berubah menjadi 0,054. Perubahan ini memperlihatkan bahwa dengan penambahan limbah FGD *gypsum* dengan kadar konstan, nilai angka pori ( $e_0$ ) dan nilai indeks kompresi (Cc) akan semakin kecil. Hal ini menyebabkan tanah semakin padat karena limbah FGD *gypsum* dapat mengisi rongga pori tanah.

### Analisis Penurunan Konsolidasi

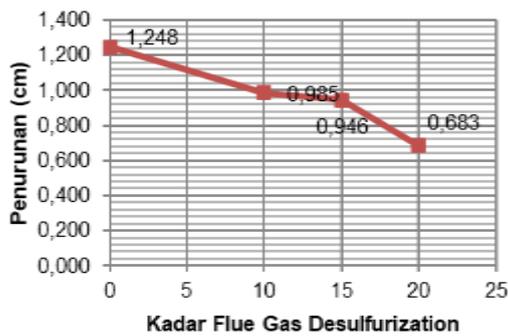
Analisis penurunan konsolidasi dapat dilakukan setelah didapat parameter dari nilai prakonsolidasi, tekanan overburden, angka pori dan indeks kompresi (Cc). Hasil analisis penurunan konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisis penurunan konsolidasi (Sc)

No	Variasi	No	Penurunan
	contoh		Contoh
1	Tanah Asli	I	1,533
		II	1,367
		III	0,844
	<b>Rata-rata</b>	<b>1,248</b>	
2	Variasi 10% FGD	I	1,189
		II	0,902
		III	0,865
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,985</b>	
3	Variasi 15% FGD	I	0,925
		II	0,858
		III	1,055
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,946</b>	
4	Variasi 20% FGD	I	0,654
		II	0,776
		III	0,620
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,683</b>	

### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024



Gambar 8. Grafik hubungan nilai penurunan konsolidasi dengan variasi campuran

Dari Tabel 7 dan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa tanah lempung semakin ditambah campuran limbah FGD *gypsum* maka nilai penurunan konsolidasi ( $S_c$ ) semakin menurun dari 1,250 cm menjadi 0,985 cm; 0,946 cm; dan 0,683 cm dengan bertambahnya persentase limbah FGD *gypsum* dari persentase 10%; 15%; dan 20%. Persentase penurunan yang terjadi 21,158%; 24,318%; dan 45,325%.

Dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya seperti penelitian oleh Wibawa, 2015 [4] yang menggunakan campuran limbah *gypsum* 4%, 6% dan 8% pada tanah lempung dan Apriyanti, 2019 [6] yang menggunakan campuran limbah *gypsum* 8% dapat diketahui bahwa limbah FGD *gypsum* yang diperoleh dari hasil peleburan timah sama seperti limbah *gypsum* lainnya dapat digunakan sebagai bahan campuran atau bahan stabilisasi pada tanah lempung untuk meningkatkan nilai kuat geser tanah. Begitu juga dari tinjauan nilai penurunan konsolidasi, nilai penurunan konsolidasi tanah lempung juga menurun dengan bertambahnya persentase campuran limbah FGD *gypsum* dari hasil peleburan timah sama seperti penelitian oleh Maryati, 2016 [1]

dan Dewi, 2019 [5] yang menggunakan limbah *gypsum* dari hasil limbah plafond.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan limbah FGD *gypsum* ditinjau dari kuat geser tanah menunjukkan terjadinya peningkatan nilai kuat geser tanah setelah penambahan limbah FGD *gypsum* variasi 15%, hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan limbah FGD *gypsum* nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam tanah menjadi meningkat yang dapat menciptakan ikatan butiran tanah semakin kuat dan berpengaruh pada peningkatan nilai kuat geser. Tetapi pada pengaruh campuran limbah FGD *gypsum* variasi 20% mengalami penurunan, hal ini terjadi karena tanah menjadi lunak diakibatkan oleh limbah FGD *gypsum* yang banyak menyerap air, sehingga ikatan antara butiran tanah dengan *gypsum* menjadi berkurang. Pengaruh penambahan limbah FGD *gypsum* ditinjau dari penurunan konsolidasi tanah, menunjukkan terjadinya penurunan pada variasi 10%, 15% dan 20% limbah FGD, hal ini terjadi karena kandungan *gypsum* yang dapat mengikat mineral tanah sehingga mampu meningkatkan kekuatan tanah dan juga mengikat partikel-partikel tanah serta dapat mengurangi potensi perubahan volume tanah.

Persentase komposisi campuran limbah FGD *gypsum* yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai maksimum kuat geser tanah didapatkan pada variasi penambahan 15% limbah FGD *gypsum*. Nilai minimum penurunan

#### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024

konsolidasi tanah yaitu pada variasi penambahan 20% limbah FGD *gypsum*.

### Daftar Rujukan

- [1] Maryati, & Apriyanti, Y., 2016. Analisis Perbandingan Penggunaan Limbah Gypsum Dengan Semen sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung. *Jurnal FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 4 (1), pp.49-64.
- [2] Kusuma, R., I, Mina, E, Fakhri, N., 2018. Stabilisasi Tanah Lempung Lunak dengan Memanfaatkan Gypsum dan Pengaruhnya Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR). *Jurnal Fondasi (Jurnal Teknik Sipil)*, 7 (1), pp.22-31.
- [3] Untu, M. A., Mandagi, A. T., Sumampouw, J.E.R., 2020. Pengaruh Penggunaan Jerami Padi dan Gypsum sebagai Bahan Stabilisasi pada Tanah Lempung. *Jurnal Sipil Statik*, 8 (6), pp.849-858.
- [4] Wibawa, A., & Hisyam, E. S., 2015. Pengaruh Penambahan limbah gypsum terhadap nilai kuat geser tanah lempung. *Jurnal FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 3 (2), pp.65-71.
- [5] Dewi, R., Sutejo, Y., Rahmadini, R., & dkk., 2019. Pengaruh Limbah Plafon Gypsum Terhadap Penurunan Konsolidasi Pada Tanah Lempung Ekspansif. Cantilever, *Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 8 (1), pp.1-7.
- [6] Apriyanti, Y., Fahriani, F., Fauzan, H., 2019. Use of Gypsum Waste and Tin Tailings as Stabilization Materials for Clay to Improve Subgrade Quality. In: Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Universitas Bangka Belitung. *1<sup>st</sup> International Conference on Green Energy and Environment 2019 (ICoGEE 2019): Earth and Environmental Science*. Pangkalpinang, 3-4 September 2019, Institute of Physics Publishing (IOP): Pangkalpinang.
- [7] Landangkasiang, F. N., & dkk., 2020. Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum. *Jurnal Sipil Statik*, 8 (2), pp.197 - 204.
- [8] Az-Zahra, Z. A., 2020. Kinerja Limbah Gypsum Terhadap Uji Kepadatan Berat pada Tanah Dasar untuk Jalan. *Jurnal Student Teknik Sipil*, 2 (1), pp.65-71.
- [9] PT Timah Tbk, 2021. *Program Pengolahan Limbah*. Bangka Belitung: PT Timah Tbk.
- [10] Badan Standar Nasional, 2008. *Standar Nasional Indonesia Pengujian Tanah*. Jakarta: BSN.
- [11] Hardiyatmo, H. C., 2012. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [12] Hardiyatmo, H. C., 2010. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [13] Wiqoyah, Q., L Budi, A., & P Bayu, L., 2016. *Tinjauan Variasi Diameter Butiran Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung Kapur (Studi Kasus Tanah Tanon, Sragen)*. Simposium Nasional RAPI XV. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

### Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 19-03-2024 | Selesai Revisi : 01-04-2024 | Diterbitkan Online : 19-04-2024

---