

# ***Perilaku Tegangan Regangan Lempung Ekspansif yang Distabilisasi Menggunakan Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash***

## ***Stress- Strain Behavior Of Stabilized Expansive Clays Using Lime, Fly Ash And Bottom Ash***

Elsy E. Hangge<sup>1</sup>, Remigildus Cornelis<sup>2</sup>, Hanna D. Galla<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

### **Article info:**

Kata kunci:

Tegangan Regangan, Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Kapur, Fly Ash, Bottom Ash, Unconfined Compression Test (UCT)

Keywords:

*Stress- Strain, Expansive Soil, Soil Stabilization, Lime, Fly Ash, Bottom Ash, Unconfined Compression Test (UCT)*

### **Article history:**

Received: 29-07-2022

Accepted: 21-09-2022

\*Koresponden email:

[devagalla65@gmail.com](mailto:devagalla65@gmail.com)

[elsy@staf.undana.ac.id](mailto:elsy@staf.undana.ac.id)

[remi@staf.undana.ac.id](mailto:remi@staf.undana.ac.id)

### **Abstrak**

Tanah lempung Ekspansif merupakan tanah yang memiliki kemampuan kembang susut yang tinggi, sehingga perlu distabilisasi. Bahan stabilisasi yang digunakan yaitu, kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dengan variasi campuran kapur 5% (tetap), *fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan *bottom ash* 20% (tetap). Metode yang digunakan adalah metode observasi, berupa pengujian sifat fisik dan mekanis tanah di Laboratorium. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah yang distabilisasi untuk mengetahui perilaku tegangan regangan yang dihasilkan melalui pengujian UCT (*Unconfined Compression Test*). Perubahan nilai terbesar pada pengujian tekan bebas dengan pemeraman 7 hari pada variasi campuran kapur 5%, *fly ash* 30% dan *bottom ash* 20% dengan nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) 3,2 kg/cm<sup>2</sup> dari nilai tanah asli 0,326 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai kohesi tanah *undrained* ( $c_u$ ) 1,6 kg/cm<sup>2</sup> dari nilai tanah asli 0,088 kg/cm<sup>2</sup>. Perubahan yang lain terlihat pada kurva tegangan regangan tanah yang distabilisasi lebih curam daripada tanah asli. Peningkatan nilai daya dukung tanah dan nilai modulus elastisitas menunjukkan bahwa tanah dapat digunakan untuk lapisan tanah dasar.

### **Abstract**

Expansive clay is soil that has a high shrinkage ability, so it needs to be stabilized. The stabilization materials used are lime, fly ash and bottom ash with a mixture of lime 5% (fixed), fly ash 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and bottom ash 20% (fixed). The method used is the observation method, in the form of testing the physical and mechanical properties of the soil in the laboratory. Tests were carried out on the original soil and stabilized soil to determine the stress-strain behavior produced by using the Unconfined Compression Test (UCT). The biggest change in the value of the free compression test with 7 days of curing on a mixture of 5% lime, 30% fly ash and 20% bottom ash with a soil bearing capacity value ( $q_u$ ) of 3.2 kg/cm<sup>2</sup> from the original soil value of 0.326 kg/cm<sup>2</sup> and the value of undrained soil cohesion ( $c_u$ ) is 1.6 kg/cm<sup>2</sup> from the original soil value of 0.088 kg/cm<sup>2</sup>. Another change is seen in the stress-strain curve of the stabilized soil which is steeper than the original soil. The increase in the value of the bearing capacity of the soil and the value of the modulus of elasticity indicate that the soil can be used for subgrade layers.

**Kutipan:** Diisi oleh Editor

### **1. Pendahuluan`**

Jenis tanah di Desa Oebelo Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang merupakan jenis tanah lempung ekspansif (Sonbay, 2010). Jenis tanah ini memiliki daya dukung yang rendah, penurunan tinggi, kuat geser rendah, dan daya serap air tinggi. Kondisi ini juga dapat dilihat dari bentuk fisik tanah, pada musim penghujan yaitu ketika kadar airnya meningkat tanah akan mengembang, sedangkan jika pada musim kemarau tanah menjadi retak-retak karena susut. Oleh karena itu sifat teknik tanah di Desa Oebelo ini dapat ditingkatkan dengan stabilisasi tanah terhadap perbaikan sifat fisis dan sifat mekanisnya guna meningkatkan daya dukung tanah asli sehingga tanah menjadi lebih stabil dan mampu memikul beban yang diatasnya. Metode stabilisasi kimiawi merupakan salah satu solusi efektif untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan mencampur stabilisator atau bahan kimia, yaitu pencampuran tanah lempung ekspansif dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash*. Berdasarkan penelitian terdahulu (Hangge, dkk 2021), didapat bahwa seiring dengan penambahan kapur dan *fly ash* dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanis tanah lempung ekspansif di Desa Oebelo. Pada penelitian ini akan ditinjau pengaruh penambahan campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terhadap sifat fisik dan mekanis tanah lempung ekspansif, dan untuk mengetahui hubungan tegangan regangan tanah yang distabilisasi serta pengaruh penambahan campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* pada nilai kuat tekan bebas dan modulus elastisitas tanah.

## 2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif yang diambil pada ruas Jalan Timor Raya KM 21, Desa Oebelo, kapur yang dibeli di Jl. Timor Raya No.9, Oesapa Barat, Kelapa Lima, Kota Kupang, serta *fly ash* dan *bottom ash* yang diambil dari PLTU Bolok Kupang, PT. PJB Services.

### 2.1. Teknik Pengambilan Data

1. Teknik observasi  
Teknik observasi yaitu teknik pengambilan data melalui pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana Kupang terhadap objek penelitian.
2. Teknik dokumentasi  
Teknik dokumentasi yaitu teknik pengambilan data yang diperoleh dengan cara mengumpulkan teori, rumus-rumus dan ketentuan yang relevan dengan materi penelitian dari buku-buku tertentu.
3. Studi Pustaka  
Studi pustaka adalah teknik pengambilan data melalui teks-teks tertulis, seperti buku, e-book, jurnal, makalah dan lain-lain.

### 2.2 Spesifikasi Benda Uji

1. Persiapan Material Benda Uji  
Tanah yang digunakan dalam penelitian ini berupa tanah lempung ekspansif yang diambil dari lokasi Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang. Tanah ini dikeringkan dengan melakukan penjemuran di bawah terik matahari langsung, setelah kering tanah dihancurkan kemudian diayak menggunakan saringan No. 4, 10 dan 40. Bahan yang menjadi campurannya adalah kapur, *fly ash* dan *bottom ash*.
2. Cara pembuatan benda uji
  - Membuat campuran tanah lempung ekspansif-kapur-*fly ash*-*bottom ash* sesuai dengan persentase yang telah direncanakan, yaitu berat kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dihitung terhadap berat kering tanah. Variasi campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Campuran Kapur, *Fly ash*, dan *Bottom ash* Terhadap Berat Kering Tanah

Jenis Sampel	Label Sampel	Komposisi
Tanah Asli	TA	100% Tanah Asli
Variasi I	V1	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi II	V2	Tanah Asli + 5% Kapur + 15% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi III	V3	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi IV	V4	Tanah Asli + 5% Kapur + 25% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi V	V5	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>

- Membuat benda uji campuran tanah lempung ekspansif-kapur-fly ash-bottom ash untuk uji kuat tekan bebas (UCT). Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu benda uji diperam selama 7 hari untuk memberikan waktu pada campuran bereaksi dan menjaga kadar air benda uji tetap stabil.
- Benda uji disiapkan sebanyak 18 benda uji. Perincian jumlah benda uji berdasarkan variasi benda uji dan pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2. Pengambilan sampel hanya pada 1 titik dengan kedalaman  $\pm 50$  cm.

Tabel 2. Variasi Benda Uji Dan Jenis Pengujian Di Laboratorium

No. Variasi	Variasi Benda Uji	Jumlah Benda Uji Tekan Bebas
1.	TA	3
2.	V1	3
3.	V2	3
4.	V3	3
5.	V4	3
6	V5	3
Total benda uji		18

### 2.3. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli dan Tanah yang Distabilisasi

Tanah asli dan tanah yang distabilisasi menggunakan campuran kapur, fly ash dan bottom ash meliputi beberapa pengujian diantaranya:

1. Pengujian kadar air (ASTM 2216-71)
2. Pengujian berat jenis (ASTM D 854-58)
3. Pengujian distribusi ukuran butiran tanah (ASTM D 2487-69)
4. Pengujian batas-batas atterberg:
  - Pengujian batas cair (ASTM D 423-59)
  - Pengujian batas plastis (ASTM D 424-59)
  - Pengujian batas susut (ASTM D 427-61)
5. Pengujian proctor standar (ASTM D-698)
6. Pengujian uji tekan bebas (ASTM D 2166-66)

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Lempung Ekspansif

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai hasil pengujian sifat fisik dan mekanis dari sampel tanah lempung ekspansif tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung Ekspansif

No	Pengujian	Nilai	Parameter
1	Kadar Air	23,40	%
2	Berat Spesifik	2,68	-
3	Batas Cair	70,24	%
4	Batas Plastis	29,68	%
5	Batas Susut	9,50	%
6	Indeks Plastis	40,56	%
7	Lolos Saringan No. 200	96,08	%

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah Lempung Ekspansif

No	Pengujian	Nilai	Parameter
1	Kadar Air Optimum	33,59	%
2	Berat Volume Kering Maksimum	1,29	gr/cm <sup>3</sup>
3	Kuat Tekan Bebas	0,326	kg/cm <sup>2</sup>
4	Modulus Elastisitas	423,773	kN/m <sup>2</sup>

### 3.2. Klasifikasi Tanah Asli

Berdasarkan sistem klasifikasi AASTHO tanah tergolong ke dalam kelompok A-7-5 dengan nilai GI 46 yang merupakan tanah berlempung, tanah jenis ini dikategorikan buruk sebagai lapisan tanah dasar. Menurut USCS, jenis tanah ini tergolong ke dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

### 3.3. Karakteristik dan Klasifikasi Kapur

Berdasarkan pengujian laboratorium didapat nilai CaO kapur sebesar 62,94% (Ullu, 2021). Kandungan CaO dalam kapur dapat memberikan sifat cementitious (kemampuan untuk mengeras dan bertambah kuat apabila bereaksi dengan air) pada *fly ash*. Sedangkan Kombinasi *bottom ash* dan kapur, membawa efek gabungan pada kekuatan tanah, memproduksi kuat tekan dan daya dukung yang lebih tinggi.

### 3.4. Karakteristik dan Klasifikasi Fly ash

*Fly ash* yang dipakai pada penelitian ini diambil di PLTU Bolok Kupang. Dari hasil pengujian di Laboratorium diketahui bahwa *fly ash* tersebut termasuk dalam tipe CI dengan nilai CaO sebesar 10,64% (Dom, 2021).

### 3.5. Karakteristik dan Klasifikasi Bottom ash

*Bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini diambil di PLTU Bolok Kupang. Berdasarkan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) di PT. Sucofindo, diketahui nilai CaO sebesar 13,92%.

### 3.6. Stabilisasi Tanah dengan Kapur, Fly ash dan Bottom ash

Stabilisasi dilakukan dengan mencampur tanah asli (TA) dengan 5% kapur, *fly ash* dengan persentase sebesar 10% (V1), 15% (V2), 20% (V3), 25% (V4), 30% (V5), dan *bottom ash* dengan persentase 20%.

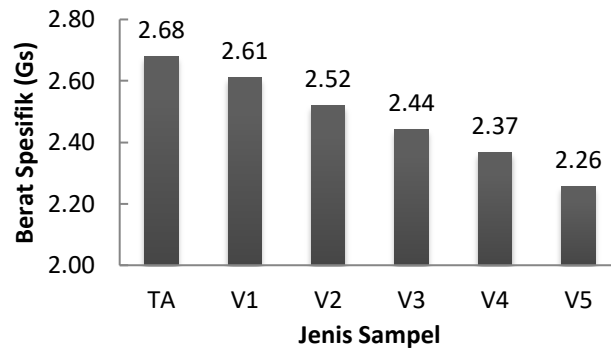
#### 3.6.1. Berat Spesifik (*Specific Gravity*)

Hasil yang diperoleh dari pengujian berat spesifik campuran tanah lempung ekspansif, kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dengan variasi persentase ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Spesifik Tanah dengan Campuran Kapur, *Fly ash* dan *Bottom ash*

No	Variasi Benda Uji	Berat Spesifik
1	TA	2,68
2	V1	2,61
3	V2	2,52
4	V3	2,44
5	V4	2,37
6	V5	2,26

Tabel 5. menunjukkan terjadi penurunan nilai berat spesifik, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai berat spesifik tanah yang distabilisasi akan berkurang dari nilai berat spesifik tanah asli. Ketika tanah dicampur dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terjadi perubahan tekstur tanah di mana partikel-partikel tanah menjadi menggumpal, sehingga partikel tanah memiliki ukuran yang lebih besar dan menyebabkan penurunan nilai berat spesifik (Ningsih, 2014). Persentase penurunan nilai berat spesifik pada tanah setelah distabilisasi berturut-turut adalah 2,61%, 5,97%, 8,96%, 11,57% dan 15,67% terhadap tanah asli. Penurunan nilai berat spesifik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Berat Spesifik Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash* Terhadap Tanah Asli

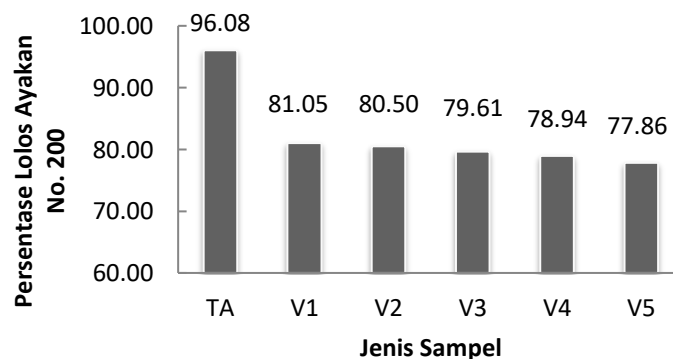
### 3.6.2. Analisis Saringan

Hasil pengujian analisis saringan untuk campuran tanah lempung ekspansif, kapur, *fly ash* dan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Analisis Saringan

No	Variasi Benda Uji	Butiran Lolos Saringan No. 200 (%)
1	TA	96,08
2	V1	81,05
3	V2	80,50
4	V3	79,61
5	V4	78,94
6	V5	77,86

Persentase penurunan butiran lempung pada tanah setelah distabilisasi berturut-turut adalah 15,64%, 16,22%, 17,14%, 17,84% dan 18,96% terhadap tanah asli. Sehingga dapat disimpulkan bahwa seiring peningkatan variasi jumlah *fly ash* dan penambahan *bottom ash* pada tanah maka jumlah butiran lempung semakin berkurang dan jumlah butiran pasir lebih banyak dibandingkan dengan komposisi butiran tanah asli, hal ini terjadi karena butiran halus yang menggumpal (Hangge, dkk, 2021). Komposisi butiran tanah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Analisis Saringan dan Hidrometer Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash*

### 3.6.3. Batas-batas Konsistensi

Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas Atterberg (Atterberg limits) (Das, 2009). Dari pengujian batas-batas konsistensi, diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi

No	Variasi Benda Uji	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Batas Susut (%)
1	TA	70,24	29,68	40,56	9,50
2	V1	53,11	27,42	25,69	32,44
3	V2	50,44	26,29	24,15	37,51
4	V3	48,63	25,19	23,43	45,68
5	V4	46,26	24,10	22,16	52,81
6	V5	44,21	22,60	21,61	59,49

1. Batas Cair

Nilai batas cair mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase *fly ash*, kapur dan *bottom ash*. Penurunan secara berurutan yaitu 24,39%, 28,19%, 30,77%, 34,14% dan 37,06% terhadap tanah asli. Penurunan diakibatkan karena karena *fly ash* mampu menyerap air sehingga kadar air yang dihasilkan semakin kecil (Indera, 2017). Kapur juga mempunyai sifat hidroskopis terhadap tanah, yaitu kapur akan mengeluarkan energi dalam bentuk panas saat dicampur dengan air, sehingga air yang ada pada saat pencampuran akan mengalami penguapan yang cepat (Soehardi, 2017). Selain itu *bottom ash* memiliki daya serap yang rendah terhadap air sehingga sebagian besar air diserap oleh tanah lempung ekspansif, dan berkurangnya komposisi tanah ekspansif yang memiliki daya yang tinggi pada air, sehingga mempengaruhi penurunan nilai batas cair (Purnama Y, 2018).

2. Batas Plastis

Nilai batas plastis mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase *fly ash*, kapur dan *bottom ash*. Penurunan secara berurutan yaitu 7,61%, 11,42%, 15,13%, 18,80% dan 23,85% terhadap tanah asli. Hal ini disebabkan karena sifat bahan stabilisasi yang mudah menyerap air sehingga tanah mendekati sifat semi padat pada saat kandungan air dalam tanah tersebut sedikit (Indera, 2017).

3. Batas Susut

Batas susut mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya persentase *fly ash*, kapur dan *bottom ash*. Pada persentase *fly ash* 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%, nilai batas susut mengalami kenaikan secara berurutan yaitu 4,4 kali, 4,9 kali, 5,8 kali, 6,5 kali dan 7,3 kali terhadap tanah asli. Hal ini disebabkan menyatunya butiran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terhadap tanah asli yang menyebabkan tanah asli kehilangan sifat kelepungannya yang menyebabkan berkurangnya kemampuan susut pada tanah asli tersebut.

4. Indeks Plastisitas

Pada persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, nilai indeks plastisitas mengalami penurunan secara berurutan yaitu 36,66%, 40,46%, 42,23%, 45,36% dan 46,72% terhadap tanah asli. Menurunnya nilai indeks plastisitas menunjukkan berkurangnya butiran lempung. Nilai indeks plastisitas tanah asli menunjukkan bahwa tanah asli memiliki sifat plastisitas yang tinggi, namun setelah distabilisasi dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* nilai indeks plastisitas menurun (Hangge, dkk, 2021).

3.6.4. Pematatan Standar Proctor

Hasil pengujian pematatan standar untuk tanah asli dan tanah yang ditambahkan dengan kapur 5% (tetap), variasi *fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *bottom ash* (tetap) ditunjukkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Pematatan

No	Variasi Benda Uji	Kadar Air Optimum (%)	Berat Volume Kering Maksimum (gr/cm <sup>3</sup> )
1	TA	33,59	1,29
2	V1	31,60	1,32
3	V2	30,28	1,34
4	V3	27,81	1,37
5	V4	26,38	1,40
6	V5	25,19	1,42

Hasil pengujian pematatan standar proctor menunjukkan terjadi penurunan kadar air optimum dan kenaikan berat volume kering maksimum. Penurunan kadar air optimum karena sifat kapur yang dapat memancarkan panas yang menyebabkan tanah asli menjadi cepat kering akibat proses hidrasi (Sosrodarsono, 2000). Menurunnya nilai kadar air optimum ini juga karena air lebih dominan berikatan dengan *bottom ash*

sehingga tanah lebih sedikit mengikat air. Hal inilah yang menyebabkan kadar air mengalami penurunan (Purnama, Y, 2018). Berat volume kering maksimum mengalami peningkatan karena campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* menyebabkan bertambahnya ikatan antara partikel tanah. Kapur dan *fly ash* mempunyai ukuran butiran yang halus sehingga dapat mengisi rongga antara partikel tanah sehingga membentuk tekstur tanah yang semakin padat (Ullu, 2020).

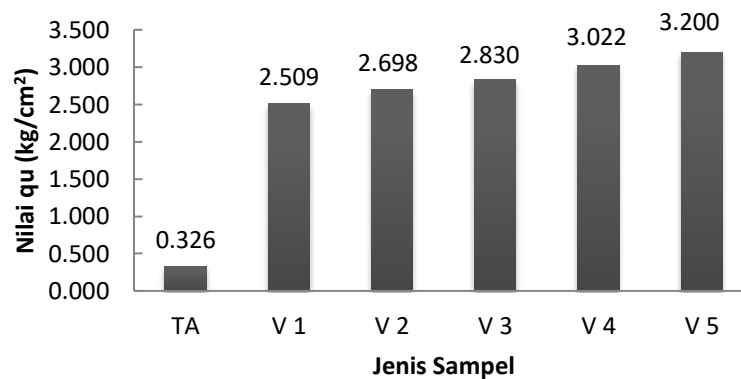
3.6.5. Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Dari uji kuat tekan bebas ini diperoleh nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) dan di peroleh nilai kohesi tanah undrained ( $c_u$ ) yaitu sebesar  $\frac{1}{2} q_u$ . Pengujian kuat tekan bebas dilakukan pada masing-masing 3 benda uji untuk setiap variasi campuran yang dimana masing-masing benda uji telah dipadatkan pada tabung silinder dan diperam selama 7 hari dalam desikator sebelum dilakukan pengujian. Hasil pengujian kuat tekan bebas dapat dilihat pada Tabel 9.

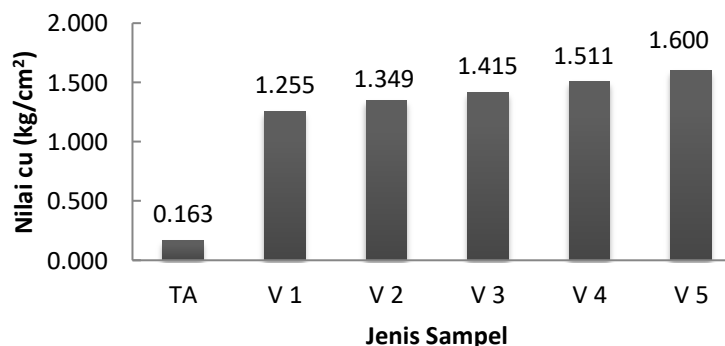
Tabel 9. Hasil Rata-Rata Pengujian Kuat Tekan Bebas

No	Variasi Benda Uji	Rata-Rata	
		$q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$c_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	TA	0,326	0,088
2	V1	2,509	1,255
3	V2	2,698	1,349
4	V3	2,830	1,415
5	V4	3,022	1,511
6	V5	3,200	1,600

Untuk nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) dan nilai kohesi tanah *undrained* ( $c_u$ ) dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Grafik Nilai Daya Dukung Tanah( $q_u$ ) Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash* Terhadap Tanah Asli



Gambar 4. Grafik Nilai Kohesi Tanah *Undrained* ( $c_u$ ) Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash* Terhadap Tanah Asli

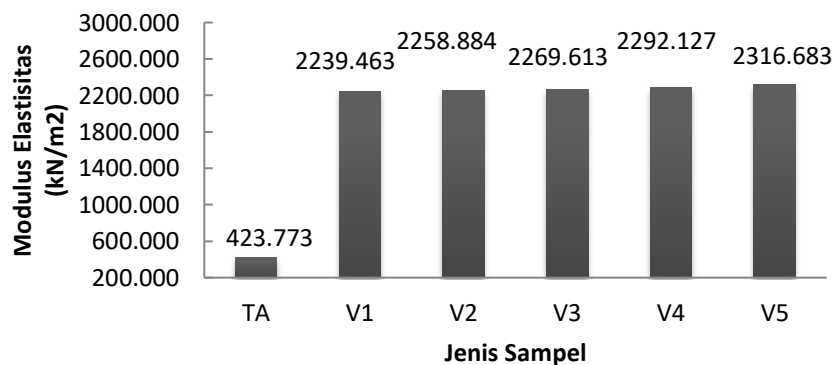
Nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) meningkat berturut-turut sebesar 6,7 kali, 7,3 kali, 7,7 kali, 8,3 kali dan 8,8 kali dari nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) tanah asli sebesar  $0,326 \text{ kg/cm}^2$ . Peningkatan nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) ini disebabkan oleh reaksi pozzolanic dan cementious yang terjadi pada tanah akibat pencampuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* sehingga tanah akan semakin keras dan kaku sehingga meningkatkan kekuatan tanah. Seiring penambahan kapur 5% (tetap), *fly ash* dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan *bottom ash* 20% (tetap), nilai kohesi tanah undrained ( $c_u$ ) meningkat berturut-turut sebesar 6,7 kali, 7,3 kali, 7,7 kali, 8,3 kali dan 8,8 kali dari nilai kohesi tanah undrained ( $c_u$ ) tanah asli sebesar  $0,163 \text{ kg/cm}^2$ . Hal ini membuat tanah semakin keras dan meningkatkan kekuatan tanah. Nilai tekanan yang terjadi semakin meningkat akibat dari butiran tanah yang telah menjadi padat karena menyatu dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash*.

### 3.6.6. Penentuan Modulus Elastisitas Tanah

Pada pengujian di Laboratorium, modulus Elastisitas (E) didapat dari hasil hubungan tegangan-regangan pegujian kuat tekan bebas Nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai Rata-Rata Modulus Elastisitas Tanah

No	Variasi Benda Uji	Rata-Rata (Kn/m <sup>2</sup> )
1	TA	423,773
2	V1	2239,463
3	V2	2258,884
4	V3	2269,613
5	V4	2292,127
6	V5	2316,683



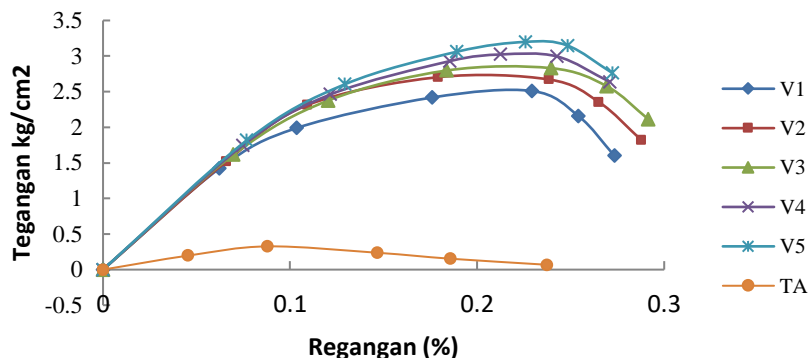
Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tanah

Setelah distabilisasi tanah mengalami kenaikan modulus elastisitas, pada penambahan kapur 5% (tetap), *fly ash* dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan *bottom ash* 20% (tetap) berturut-turut adalah 81,08%, 81,24%, 81,33%, 81,51% dan 81,71% dari nilai modulus elastisitas tanah asli.

### 3.6.7. Hubungan Tegangan Regangan

Berdasarkan pengujian UCT di Laboratorium, maka didapat hubungan antar tegangan regangan. Untuk hubungan tegangan regangan dapat dilihat dari grafik pada Gambar 6.





Gambar 6. Kurva Hubungan Tegangan Regangan Pada Tanah Asli dan Berbagai Variasi Campuran Kapur, Fly ash dan Bottom ash

Hubungan tegangan regangan untuk TA dengan V1, V2, V3, V4 dan V5 juga dapat dilihat pada kurva, dimana pada kurva TA terlihat regangan yang terjadi pada tegangan maksimumnya yang sama terjadi juga pada kurva V1, V2, V3, V4 dan V5, namun pada kurva untuk tanah yang sudah distabilisasi ini terjadi peningkatan nilai tegangannya namun bukan pada tegangan maksimumnya. Hal ini terjadi karena setelah distabilisasi tanah mengalami peningkatan kekuatan tanah.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan grafik hubungan tegangan regangan, diketahui bahwa variasi tanah yang distabilisasi memiliki perilaku yang getas terlihat dari bentuk kurva yang curam, sedangkan tanah asli memiliki perilaku yang daktail terlihat dari kurva yang lebih landai. Kemiringan kurva dari landai menjadi curam menunjukkan adanya peningkatan nilai modulus elastistas.

Pengujian Tekan Bebas didapat nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) dan nilai kohesi tanah undrained ( $c_u$ ) yang mengalami kenaikan setiap penambahan variasi fly ash dengan pemeraman 7 hari. Untuk nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ) didapat nilai terbesar 3,2 kg/cm<sup>2</sup>. Demikian nilai kohesi tanah undrained ( $c_u$ ) didapat nilai terbesar 1,6 kg/cm<sup>2</sup>. Pada tiap penambahan fly ash daya dukung semakin meningkat dilihat dari nilai tekan bebas yang meningkat tiap penambahan fly ash. Dari penelitian uji tekan bebas juga didapat nilai modulus elastisitas, dimana pada penambahan kapur 5% (tetap), fly ash dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan bottom ash 20% (tetap) berturut-turut adalah 2239,463 kN/m<sup>2</sup>, 2258,884 kN/m<sup>2</sup>, 2269,613 kN/m<sup>2</sup>, 2292,127 kN/m<sup>2</sup>, 2316,683 kN/m<sup>2</sup>.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 1980. *Annual Books Of ASTM Standards*. American Society For Testing Material. Philadelphia
- Hangge, dkk . 2021. *Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif*. Jurnal Teknik Sipil, Vol 10, No.1. Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Hardiyatmo, Christady, Harry. 2006. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University. Press. Yogyakarta
- Indera, Rama. 2017. *Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas*. Jurnal Fondasi, Vol. 6 No. 2. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Serang Banten
- Ningsih, Dessy. 2014. *Pengaruh Penambahan Variasi Tanah Kapur dan Semen Terhadap Potensi Pengembangan Tanah Lempung Desa Niuk Baun Kecamatan Amarasi Barat Kabupaten Kupang*. Skripsi S-1 Prodi Teknik Sipil. Universitas Nusa Cendana. Kupang
- Purnama, Y. 2018. *Pengaruh Penambahan Bottom Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Lakarsantri Surabaya Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal*. Rekayasa Teknik Sipil Vol.2 No.2.
- Soehardi, Fitridawati. 2017. *Pengaruh Waktu Pemeraman Stabilisasi Tanah Menggunakan Kapur Terhadap Nilai CBR*. Jurnal Teknik Sipil Siklus. Vol. 3 No. 1. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Lancang Kuning

- Sonbay, Albert. 2010. *Kajian Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Desa Oebelo Dengan Garam Dapur Lokal*. Skripsi S-1 Prodi Teknik Sipil. Universitas Nusa Cendana. Kupang
- Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta
- Ullu, Marta. 2021. *Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 10 No. 1. Universitas Nusa Cendana. Kupang