

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

STABILISASI CAMPURAN *FLY ASH*, *BOTTOM ASH*, DAN SEMEN TERHADAP PENGARUH NILAI KUAT TEKAN BEBAS (*UNCONFINED COMPRESSION TEST*)

Ari Nely Mak'sudah*, Yayan Adi Saputro*, Decky Rochmanto*

*) Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Japara
Email koresponden : arinely23@gmail.com

ABSTRAK

Seiring pesatnya dunia industri di PLTU Tanjung Jepara B di Jepara, inovasi baru dimunculkan guna meminimalisir limbah *fly ash* dan *bottom ash* tersebut. Limbah yang sering dikeluhkan oleh masyarakat yang menyebabkan meningkatnya suhu panas dan dapat menimbulkan polusi udara. Oleh karena itu dunia industri pada saat ini berlomba-lomba untuk menginovasi limbah tersebut menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat untuk kelangsungan hidup masyarakat. Harga yang relatif terjangkau, maka limbah ini sesuai untuk bahan stabilisasi tanah timbunan biasa. Untuk menginovasi kekuatan dan memperbaiki daya dukung tanah didaerah Jalan Kyai Ronggo Mulyo Ujung Batu Jepara perlu adanya upaya menstabilisasikan tanah dilokasi tersebut. Penambahan *fly ash*, *bottom ash*, dan semen adalah cara menstabilisasi tanah ekspansif yang paling efektif, yang mengikat mineral tanah guna mengurangi kembang susut yang dapat menambah nilai kekuatan pada tanah. Penelitian ini menggunakan pengujian kuat tekan bebas, dengan merancang *mix design* (50% FA : 50% BA, 60%FA : 40%BA). Menggunakan variasi semen (3%,5%,7%,9%,11%,13%,15%), serta dengan perbandingan air sebesar 15%. Dengan masa pemeraman selama 1, 3, dan 7 hari. Dengan memperoleh hasil optimum pada *mix design* 50% FA:50% BA dengan variasi semen 9% dengan hasil nilai 4,943 kg/m² pada waktu pemeraman 3 hari. Sehingga didapatkan hasil nilai optimum untuk lapis pondasi (*Improving Subgrade*).

Kata kunci : Stabilitas, *Fly Ash*, *Bottom Ash*, Semen, Nilai UCS.

I. PENDAHULUAN

Pada zaman saat ini industri melonjak pesat, terutama pada dunia industri PLTU Tanjung Jati B Jepara, yang menghasilkan limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang sangat berlebihan (Qomaruddin et al., 2019, 2020; Widayat et al., 2022). Limbah yang sering dikeluhkan oleh masyarakat yang menyebabkan meningkatnya suhu panas dan dapat menimbulkan polusi udara. Untuk menampik potensi negatif, diperlukannya pemanfaatan limbah tersebut, dengan upaya menstabilisasikan tanah timbunan biasa sangat sesuai menggunakan limbah tersebut (Fahrizal et al., 2022). Pada dasarnya tanah merupakan dasar dari sebuah konstruksi, karena menahan dan menerima beban dari struktur di atasnya. sehingga untuk menampik tanah yang kurang baik diperlukan stabilisasi tanah pada lokasi tersebut agar daya dukungnya lebih kuat serta dapat meminimalisir terjadinya kembang susut (Indera Kusuma et al., 2017). Uji coba ini dilakukan guna mencari tau klasifikasi dan indeks plastisitas tanah pada di daerah Jalan Kyai Ronggo Mulyo Ujung Batu Jepara, dengan pengujian fisis tanah untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* dan *bottom ash* yang dibandingkan dengan beberapa prosentase semen untuk mencari tau nilai kuat tekan bebas tanah dalam kondisi eksisting setelah dicampurkan *fly ash* dan *bottom ash* dengan menggunakan prosentase semen dengan kadar presentase bervariasi (Qomaruddin et al., 2018).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Mengenai tinjauan studi yang digunakan sebagai acuan penelitian dari tinjauan pustaka yang berkaitan dengan topik penelitian terdahulu. Pelaksanaan uji karakteristik yang tujuannya untuk mengetahui hasil uji kadar air (*water content test*), berat jenis (*water content test*). Selanjutnya untuk bahan *fly ash* dan *bottom ash* yang di stabilisasikan dengan semen dilakukan dengan pengujian kuat tekan bebas (*unconfined test*).

Sistem klasifikasi tanah merupakan tanah yang dibedakan menjadi beberapa sifat yang dikelompokkan menurut fungsinya (Hucka & Das, 1974). Berfungsi untuk mengetahui fungsi tanah,

yang dipertimbangkan berdasarkan masalah-masalah yang akan terjadi.

Sistem klasifikasi tanah yang paling sering dipakai yaitu (*USCS*) *Unified Soil Classification System* dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Dikelompokkan menjadi 3, terdiri dari tanah dengan partikel kasar dengan artian kandungannya terdapat partikel halus seperti pasir, kerikil dalam artian tanah lempung, serta tanah yang kadar organik maksimum biasanya tanah ini tanah gambut (Indera Kusuma et al., 2017).

Tanah yang kita pakai dalam riset ini yaitu butiran tanah yang menyatu kesatuan/tanah kohesif. Tanah ini bersifat plastis, non plastis serta sifatnya seperti cairan tergantung kadar air yang akan digunakan. Contoh dari tanah ini yaitu tanah lempung (Bowles, 2005).

Abu terbang merupakan butiran halus hasil pembakaran batu bara ataupun partikel halus batu bara yang materialnya berwarna keabu-abuan, *fly ash* mengandung unsur kimia yaitu silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), kalsium oksida (CaO) dan Ferro oksida (Fe_2O_3), serta mengandung unsur lainnya seperti Titanium Oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), pospor oksida (P_2O_5), magnesium oksida (MgO), sulfur trioksida (SO_3) dan karbon. *Fly ash* tergolong limbah B3 dengan kode D223 termasuk kedalam pencemaran utama logam berat (Qomaruddin et al., 2019, 2020).

Di Jepara sendiri PLTU yang merupakan penghasil limbah batu bara (*fly ash*) terbesar, perlu dilakukannya sistem pengelolaan untuk meminimalisir terjadinya polusi udara, serta penurunan ekosistemnya. Dengan memberikan bahan tambah *fly ash* yang dituju untuk menstabilisasi tanah ekspansif, *fly ash* ini bersifat *pozzolan* yang dapat mengikat mineral tanah menjadi padat, yang dapat meminimalisir kembang susut tanah, memperkuat nilai kekuatannya serta akan menghasilkan zat memiliki kemampuan untuk mengikat (Sumiyanto, Prabandiyani et al., 2023).

Abu dasar tergolong sebagai limbah B3 yang mengandung oksida yang terdapat logam berat sehingga dapat mengalami pelindian secara alami dan menyebabkan pencemaran udara serta ekosistem. Berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah

No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Sutarno et al., 2017).

Abu dasar memiliki permukaan pori-pori yang lumayan besar sehingga menyebabkan penyerapan air cukup besar. Oleh karena itu dapat mengakibatkan penurunan kualitas dari campuran disebabkan dari peningkatan *water content* (Suddepong et al., 2018). *Bottom ash* (abu dasar) mempunyai beberapa variasi yang dipengaruhi pada saat pembakaran yang terbagi menjadi beberapa jenis menurut sifatnya. Abu dasar mengandung unsur kimia yang terusun seperti Si, Al, Fe, Ca, Mg, S, Na, dan unsur kimia lainnya (Nurwidayati et al., 2016).

Semen tergolong dalam material yang biasa digunakan pada pekerjaan konstruksi yang mempunyai sifat adhesif dan kohesif, mempunyai daya ikat sangat kuat sehingga dapat menyatukan komponen mineralnya merupakan defenisi dari Semen. Dikelompokkan menjadi 2 yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis (Indonesia, 2002). Pada riset kali ini menggunakan semen *portland* (*Portland cement*) yang mengandung kalsium silikat yang berbentuk senyawa kalsium sulfat, yang dihasilkan dari gilingan terak semen *porland*. (SNI 15-2049, 2004).

2.1. Kadar Air (*Water Content Test*)

Untuk mengetahui hasil karakteristik dari beberapa bahan yang digunakan pada uji coba kali ini maka perlu dilakukan pengujian kadar air. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui hasil yang signifikan. Merupakan hasil dari perbandingan berat air yang terkandung dengan berat kering. (SNI 03-1971, 1990). Rumus menghitung kadar air sebagai berikut :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa kering}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

2.2. Berat Jenis (*Water Content Test*)

Untuk mengetahui berat jenis dilakukan perbandingan antara massa isi butir dengan massa air maka dilakukan pengujian berat jenis (*water content test*). (SNI 1969-2008, 2008). Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur berat sejumlah massa yang isinya telah diketahui.

Rumus menghitung berat jenis butir (GS) sebagai berikut :

$$GS = \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} \times K \quad (2)$$

Keterangan :

- W1 = Berat picnometer kosong (gr)
- W2 = Berat picnometer + sampel kering (gr)
- W3 = Berat picnometer + sampel kering + air (gr)
- W4 = Berat picnometer + air (gr)
- K = Faktor kolerasi terhadap suhu

2.3. Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined*)

Pada uji coba kali ini dilakukan untuk mencari nilai perhitungan dari kuat tekan geser, menguji seberapa nilai kuat tekannya sampai terpisah dari butiran-butirannya serta mencari nilai regangannya yang diakibatkan dari kuat tekanannya tersebut.

1. Besar regangan aksial

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3)$$

Keterangan :

- e = Regangan aksial (%)
- ΔL = Perubahan panjang sampel uji (cm)
- L_0 = Mula-mula panjang sampel uji (cm)

2. Luas penampang sampel uji rata-rata

$$A = \frac{A_0}{1 - e} \quad (4)$$

Keterangan :

- A_0 = Mula-mula luas penampang sampel uji (cm²)

3. Hitungan besar tegangan normal

$$T = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (5)$$

$$P = n \times \beta \quad (6)$$

Keterangan :

- n = Pembacaan arloji tegangan
- β = Angka kalibrasi dari cincin penguji (*proving ring dial*)

Sumber : SNI 03-3638-2021.

4. Cara perhitungan prosentase

$$X = \frac{y - z}{z} 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

- y = Nilai akhir
- z = Nilai awal

III. METODE PENELITIAN

Uji percobaan ini berlokasi di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara dan Jalan Kyai Ronggo Mulyo Ujung Batu Jepara dilaksanakan pada bulan Desember 2021 sampai selesai. Menggunakan metode observasi secara *real-time* dan eksperimen yang dilakukan dilaboratorium. Metode yang digunakan pada penelitian ini mempunyai beberapa tahapan, tahapan pertama dilakukan uji sifat fisik dan analisis jenis butir. Percobaan kedua dilakukan uji pemadatan guna mengetahui kadar air. Setelah itu dengan merancang *mix design* (50%FA : 50%BA, 60%FA : 40%BA). Dengan perbandingan campuran semen (3%, 5%, 7%, 9%,11%, 13%, 15%), serta dengan perbandingan air sebesar 15%. Sehingga dapat ditentukan berapa banyak sampel uji yang akan dibuat. Dilakukan dengan waktu pemeraman selama 1 hari, 3 hari, dan 7 hari. Tahapan setelah pemeraman dilakukan uji kuat tekan bebas (*unconfined test*) guna mengetahui nilai daya dukung tanah tersebut. Selain uji kuat tekan bebas, dilakukan stabilisasi tanah guna mengetahui pengaruh *fly ash*, *bottom ash*, dan semen. Tahapan yang terakhir yaitu, menganalisa hasil dari pengujian yang telah dilakukan. Maka akan ditemukan hasil data nilai tertinggi untuk uji coba lapis pondasi (*improving subgrade*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari uji coba pada penelitian ini yaitu pengujian kadar air (*water content test*), berat jenis butir (*specific gravity test*), kompaksi (*proctor test*), dan pengujian (*unconfined compressive strength*) UCS, yang menggunakan bahan campur *fly ash* dan *bottom ash* yang distabilisasikan dengan semen dengan beberapa varian yang berbeda.

Pengujian uji kadar air (*water content test*) *fly ash* dan *bottom ash*. Pengujian uji kadar air dilakukan untuk mengetahui berapa prosentase kandungan air yang ada pada bahan uji. Kemudian untuk mencari nilai kadar air, diambil 3 sampel lalu dikeringkan menggunakan oven sampai kering. Dengan hasil *fly ash* mengandung kadar air rata

rata sebesar 31,53% dan *bottom ash* mengandung kadar air rata-rata sebesar 39,35%.

Tabel 1. Hasil Uji Kadar Air (*Water Content Test*)

Kode sampel	No. Cawan	Berat cawan (gr)	Berat cawan + sampel basah (gr)	Berat cawan + sampel kering (gr)	Kadar air (%)	Rata-rata (%)
A	FA.1	10	46	45	28,57	31,53
B	FA.2	10	40	39	34,48	
C	BA.1	10	38	37	37,04	39,35
D	BA.2	10	35	34	41,67	

Keterangan :

FA = *Fly ash*

BA = *Bottom ash*

Dari **tabel 1.** selanjutnya akan dilakukan analisa sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{FA.1} &= \frac{(b - c)}{(c - a)} \times 100\% \\
 &= \frac{(46 - 45)}{(45 - 10)} \times 100\% \\
 &= 28,57\% \\
 \text{FA.2} &= \frac{(b - c)}{(c - a)} \times 100\% \\
 &= \frac{(40 - 39)}{(39 - 10)} \times 100\% \\
 &= 34,48\% \\
 \text{Rata-rata} &= \frac{(\text{FA.1} + \text{FA.2})}{2} \\
 &= \frac{28,54 + 34,48}{2} \\
 &= 31,53\%
 \end{aligned}$$

Pengujian uji berat jenis (*water content test*) dilakukan untuk mendapatkan perbandingan antara massa isi butir tanah dengan massa isi air. (SNI 1964-2008).

Tabel 2. Hasil Data Uji Berat Jenis

Kode	<i>Fly ash</i>		<i>Bottom ash</i>		Semen	
	A	B	A	B	A	B
Berat Piko (gr) (W1)	17	17	17	17	17	17
Berat Piko + Air (gr) (W4)	43	43	43	43	42	42
Berat Piko + sampel (gr) (W2)	28	26	26	25	23	24
Berat Piko + sampel + Air (gr) (W3)	47	45	48	48	46	47
Berat Piko + sampel + Air (Setelah direndam) (gram)	47	45	48	48	46	47
Suhu (c) T ₁	30	30	30	30	30	30
Suhu (c) T ₂	30	30	30	30	30	30
Konfersi Suhu t ₁	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
Konfersi Suhu t ₂	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
Berat Jenis sampel (GS)	1,565	1,281	2,241	2,656	2,988	3,486
Rata-Rata Berat Jenis sampel	1,423		2,449		3,237	

Dari **tabel 2.** diatas selanjutnya akan dilakukan analisa sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Hp1 &= (W4 - W1) \times t_1 \\
 &= (43 - 17) \times 0,996 \\
 &= 25,896 \\
 Hp2 &= (W4 - W1) \times t_1 \\
 &= (43 - 17) 0,996 \\
 &= 25,896 \\
 GS1 &= \frac{W2 - W1}{Hp - (W3 - W2) \times t2} \\
 &= \frac{28 - 17}{25,896 - (45 - 28) \times 0,996} \\
 &= 1,565 \\
 GS2 &= \frac{W2 - W1}{Hp - (W3 - W2) \times t2} \\
 &= \frac{26 - 17}{25,896 - (47 - 26) \times 0,996} \\
 &= 1,281
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Hasil Data Uji Berat Jenis

Kode	Fly ash		Bottom ash		Semen	
	A	B	A	B	A	B
Berat Plikno (gr) (W1)	17	17	17	17	17	17
Berat Plikno + Air (gr) (W4)	43	43	43	43	42	42
Berat Plikno + sampel (gr) (W2)	28	26	26	25	23	24
Berat Plikno + sampel + Air (gr) (W3)	47	45	48	48	46	47
Berat Plikno + sampel + Air (Setelah direndam) (gram)	47	45	48	48	46	47
Suhu (c) T ₁	30	30	30	30	30	30
Suhu (c) T ₂	30	30	30	30	30	30
Konfersi Suhu t ₁	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
Konfersi Suhu t ₂	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
Berat Jenis sampel (GS)	1,565	1,281	2,241	2,656	2,988	3,486
Rata-Rata Berat Jenis sampel	1,423		2,449		3,237	

Hasil perhitungan **tabel 3.** yang telah di analisa *fly ash* mendapatkan nilai berat jenis rata-rata 1,423 yang terkategori butiran halus, pasir ataupun lempung. Untuk hasil *bottom ash* mendapatkan nilai berat jenis rata-rata 2,449 yang terkategori sebagai pasir, kerikil, dan untuk semen mendapatkan nilai berat jenis rata-rata 3,237 yang terkategori sebagai lempung/sebagainya.

- 1) *Unconfined Compressive Strength (UCS)*
 - FA 50% : BA 50%

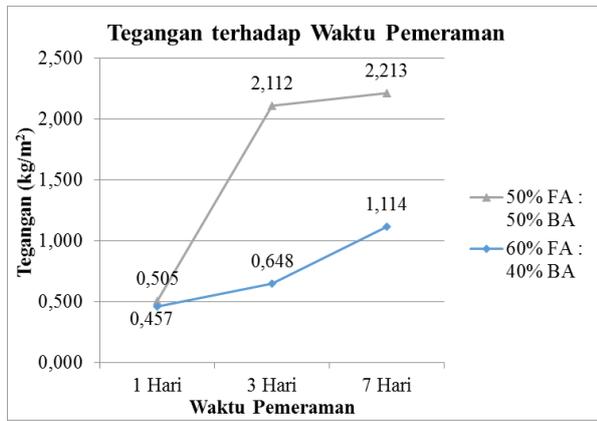
Tabel 4. Hasil Pengujian UCS

Masa Pemeraman	Prosentase Fly ash dan Bottom Ash	Variasi Campuran Semen (%)	Tegangan (kg/m ²)
1	FA 50% : BA 50%	3	0,521
		5	0,484
		7	0,573
		9	0,532
		11	0,464
		13	0,450
3	FA 50% : BA 50%	15	0,511
		3	1,065
		5	1,147
		7	0,913
		9	4,943
		11	2,076
7	FA 50% : BA 50%	13	1,522
		15	1,522
		3	0,870
		5	0,969
		7	2,214
		9	1,666
		11	4,567
		13	4,457
		15	2,464

- FA 60% : BA 40%

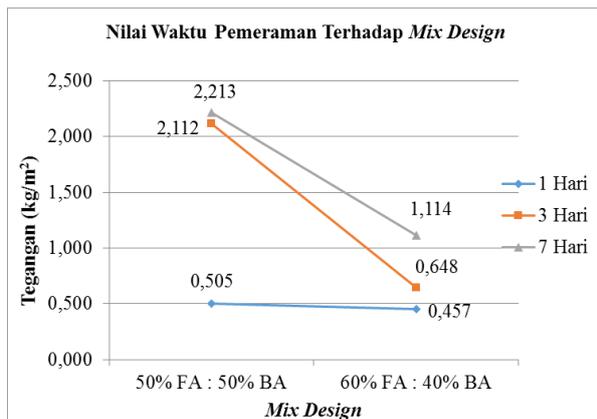
Tabel 5. Hasil Pengujian UCS

Masa Pemeraman	Prosentase Fly ash dan Bottom Ash	Variasi Campuran Semen (%)	Tegangan (kg/m ²)
1	FA 60% : BA 40%	3	0,747
		5	0,637
		7	0,096
		9	0,304
		11	0,432
		13	0,458
3	FA 60% : BA 40%	15	0,524
		3	0,656
		5	0,707
		7	0,512
		9	0,710
		11	0,539
7	FA 60% : BA 40%	13	0,683
		15	0,733
		3	0,820
		5	0,751
		7	0,750
		9	0,669
		11	1,328
		13	2,241
		15	1,240



Gambar 1. Grafik Nilai Tegangan Terhadap Waktu Pemeraman

Pada **gambar 1.** diatas didapatkan hasil dari variasi *mix design* 50%FA : 50%BA, dengan masa waktu pemeraman 1 hari, 3 hari, dan 7 hari. Terjadi kenaikan tertinggi pada prosentase rata-rata dengan nilai 2,213 kg/cm² pada masa pemeraman 7 hari. Selanjutnya dimana pada variasi *mix design* 60% FA: 40%BA, terjadi kenaikan tertinggi pada prosentase rata-rata dengan nilai 1,114 kg/cm² pada masa pemeraman 7 hari.

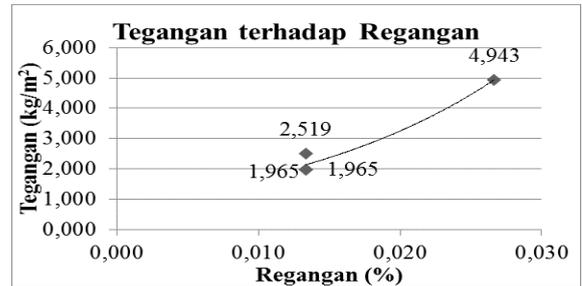


Gambar 2. Grafik Nilai Waktu Pemeraman Terhadap Mix Design

Pada **gambar 2.** grafik diatas bahwa pada variasi *mix design* dari fly ash dan bottom ash, 50%BA : 50%BA, 60%FA : 40%BA terjadi penurunan pada waktu 1 hari dengan nilai 0,505 kg/m² pada 50%FA dan 0,4057 kg/m² pada 50%BA. Terjadi penurunan pada waktu 3 hari dengan nilai 2,112 kg/m² pada 60%FA dan 0,648 kg/m² pada 40%BA. Serta terjadi penurunan pada waktu 7 hari dengan nilai 2,213 kg/m² pada 60%FA dan 1,114 kg/m² pada 40%BA.

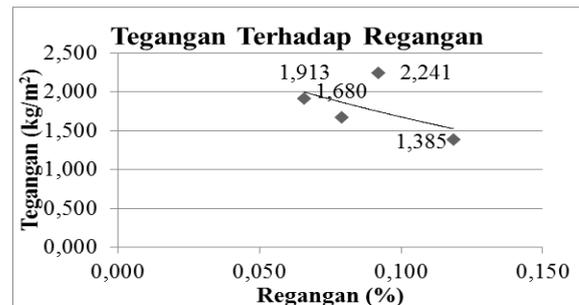
Tabel 6. Nilai Tegangan Terhadap Stabilitas

Prosentase <i>Mix Design</i>	Variasi Campuran (%)	Masa Pemeraman (Hari)	Tegangan (Kg/m ²)	Regangan (%)
50% FA : 50% BA	9%	3 hari	4.943	0.027
60% FA : 40% BA	13%	7 hari	2.241	0.092



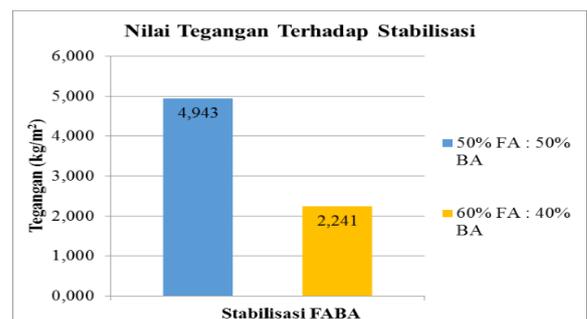
Gambar 3. Grafik Nilai Tegangan Terhadap Regangan 50%FA : 50%BA

Bisa dilihat **gambar 3.** grafik tegangan mengalami kenaikan yang pesat dengan nilai regangan 0,027% dengan hasil nilai tegangan sebesar 4,943 kg/m², pada regangan 0,013% mengalami penurunan dengan mendapatkan nilai tegangan sebesar 1,965 kg/m².



Gambar 4. Grafik Nilai Tegangan Terhadap Regangan 60%FA : 40%BA

Bisa dilihat **gambar 4.** grafik mengalami penurunan yang drastis pada regangan 0,118% dengan nilai tegangan sebesar 1,385 kg/m².



Gambar 4. Diagram Nilai Tegangan Terhadap Stabilisasi

Ada 2 jenis bahan stabilisasi tanah yaitu *fly ash* dan *bottom ash* serta semen sebagai bahan pengikat, stabilisasi yang terbaik terdapat pada *fly ash* karena dinilai jauh lebih efektif untuk digunakan sebagai lapis pondasi karena dapat menyerap FABA lebih banyak.

Kajian ini dilakukan untuk menyerap secara massif limbah FABA dan memudahkan dalam proses pencampuran karena dihasilkannya limbah dalam satu tempat. Bahan pengikat semen dipilih karena secara kimia lebih cocok dengan limbah FABA serta mudah diperoleh.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil perhitungan yang telah di analisa *fly ash* mendapatkan nilai GS rata-rata 1,423 dapat dikategorikan sebagai butiran kerikil, pasir ataupun lempung. Kemudian untuk *bottom ash* mendapatkan nilai GS rata-rata 2,449 dapat dikategorikan sebagai pasir, kerikil, dan untuk semen mendapatkan nilai GS rata-rata 3,237 dapat dikategorikan sebagai lempung dan sebagainya.

- 1) Dari percobaan uji diambil 3 sampel yang dikeringkan dengan oven sampai kering, untuk *fly ash* mengandung kadar air rata-rata sebesar 31,53%, dan *bottom ash* mengandung kadar air sebesar 39,35%.
- 2) Dari hasil analisa perhitungan GS mendapatkan nilai dengan rata-rata 1,423 yang terkategori sebagai butiran halus, pasir maupun lempung. Hasil nilai GS rata-rata *bottom ash* mendapatkan nilai rata-rata sebesar 2,449 yang dikategorikan sebagai pasir ataupun kerikil, dan untuk nilai GS rata-rata pada semen mendapatkan hasil nilai rata-rata sebesar 3,227 yang dikategorikan sebagai tanah lempung dan sebagainya.
- 3) Uji percobaan terhadap *fly ash* dan *bottom ash* dengan upaya stabilisasi menggunakan nilai dengan prosentasi yang bermacam-macam, mendapatkan hasil tegangan maksimum terjadi pada *mix design* 50%FA : 50%BA dengan variasi semen 9% mengalami kenaikan tegangan maksimum

dengan mendapatkan hasil 4,943kg/m² pada waktu pemeraman selama 3 hari.

- 4) Uji coba daur ulang limbah abu terbang dan abu dasar yang diupayakan dengan stabilisasi menggunakan semen dengan variasi yang bermacam-macam yang hasil maksimum digunakan sebagai bahan lapis pondasi (*improving subgrade*). Limbah abu dasar (*bottom ash*) yang dipakai adalah lolos saringan no 4.75 mm Hal ini dilakukan karena *bottom ash* yang tertahan pada No. 4.75 mm sangat rapuh. Sehingga nilai UCS pada keseluruhan campuran meningkat seiring dengan penambahan abu dasar (*bottom ash*) dan kadar semen yang bervariasi.

5.2. Saran

- 1) Diharapkan untuk penelitian pengujian kuat tekan bebas (*unconfined test*) untuk bahan stabilisasi bisa dilakukan rencana *job mix design* lagi dengan bahan yang lebih baik, sehingga menghasilkan hasil yang lebih baik.
- 2) Usahakan pada semua pengujian dilakukan dengan benar dan hati-hati agar mendapatkan hasil data yang valid, sehingga tidak menimbulkan hasil data yang eror.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (2005). Analisis Dan Desain Pondasi II. *Erlangga, Jakarta*, 2, 474.
- Fahrizal, Y., Saputro, Y. A., & Rochmanto, D. (2022). Analisis Kepadatan Tanah Pada Akses Jalan Conveyor Pltu Tjb Unit 3 , 4 Dengan Menggunakan Standar Aashto T 191. *Jurnal Civil Engineering Study*, 02, 42–48.
- Hucka, V., & Das, B. (1974). Brittleness determination of rocks by different methods. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences And*, 11(10), 389–392. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(74\)91109-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(74)91109-7)
- Indera Kusuma, R., Mina, E., & Supadi. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas. *Jurnal Fondasi*, 6(2), 24–33.
- Indonesia, B. S. N. (2002). SNI 03-6827-2002

- Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 10. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/191-sni03-6827-2002>
- Nurwidayati, R., Ulum, M. B., Ekaputri, J. J., Triwulan, & Suprobo, P. (2016). Characterization of fly ash on geopolymer paste. *Materials Science Forum*, 841(March), 118–125. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.841.118>
- Qomaruddin, M., Ariyanto, A., Istianah, I., & Zahro, F. (2020). Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Agregat Pada Mortar Geopolimer. *Dinamika Rekayasa, Universitas Jenderal Soedirman*, 16(2).
- Qomaruddin, M., Saputro, Y. A., & Sudarno, S. (2018). Kajian Penggunaan Bottom Ash sebagai Mortar Beton. *Prosiding SNST Ke-9 Universitas Wahid Hasyim Semarang*, 34–39.
- Qomaruddin, M., Umam, K., Istianah, I., Saputro, Y. A., & Purwanto, P. (2019). Pengaruh Bahan Kalsium Oksida Pada Waktu Pengikatan Pasta Beton Geopolimer dan Konvensional. *Jurnal Eksakta Universitas Islam Indonesia*, 19(2), 182–191. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol19.iss2.art8>
- SNI 03-1971. (1990). Metode Pengujian Kadar Air Agregat. *Badan Standardisasi Nasional*, 3–6.
- SNI 15-2049. (2004). Semen Portland. In *Badan Standar Nasional Indonesia* (pp. 1–128).
- SNI 1969-2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Standar Nasional Indonesia*, 20.
- Suddepong, A., Intra, A., Horpibulsuk, S., Suksiripattanapong, C., Arulrajah, A., & Shen, J. S. (2018). Durability against wetting-drying cycles for cement-stabilized reclaimed asphalt pavement blended with crushed rock. *Soils and Foundations*, 58(2), 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.02.017>
- Sumiyanto, Prabandiyani, S., Wardani, R., & Muntohar, A. S. (2023). STABILISATION OF DEGRADED CLAY SHALE WITH THE GEOPOLYMER INJECTION METHOD. *International Journal of GEOMATE*, 24(104), 19–26.
- Sutarno, S., Utomo, M. B., Wahjoedi, W., & ... (2017). Bata Beton Geopolimer Dari Bahan Fly Ash Limbah PLTU Tanjung Jati Memiliki Banyak Keunggulan. ... *Rekayasa, Sosial Dan ...*, 03, 10–14. https://jurnal.polines.ac.id/index.php/bangun_rekaprima/article/view/758
- Widayat, widayat, Satriadi, H., Wibawa, L. P., Hanif, G. F., & Qomaruddin, M. (2022). *Oil and gas characteristics of coal with pyrolysis process Oil and Gas Characteristics of Coal with Pyrolysis Process*. 020077(July).