

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATU BARA (FLY ASH) TERHADAP UJI KUAT TEKAN BEBAS (UCS) PADA TANAH TIMBUNAN BIASA

Dede Triadi¹, R. M. Rustamaji², Aprianto³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak

^{2,3}Dosen Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak

Email : dedetriadi4@gmail.com

ABSTRAK

Di Indonesia penggunaan batu bara sebagai bahan baku untuk industri PLTU semakin meningkat, sehingga meningkatkan limbah yang bisa mencemari lingkungan berupa abu terbang (fly ash). Untuk mengurangi pencemaran lingkungan maka limbah fly ash digunakan untuk bahan campuran stabilisasi untuk tanah timbunan biasa. Tanah di jalan karet kecamatan Pontianak Barat setelah dilakukan uji fisis dan mekanis memenuhi spesifikasi bina marga divisi 3 pekerjaan tanah dan geosintetik termasuk sebagai tanah timbunan biasa. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah batu bara berupa fly ash sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan daya dukung tanah terhadap uji kuat tekan bebas. Dari hasil pengujian penambahan fly ash terhadap tanah timbunan biasa dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas dari tanah asli sebesar 4,389 kg/cm² menjadi 11,600 kg/cm² pemeraman selama 28 hari pada campuran fly ash 5%, sehingga penggunaan fly ash dapat digunakan untuk stabilisasi pada tanah timbunan biasa. Untuk campuran tanah dengan fly ash pada variasi campuran fly ash sebesar 5%, 10%, 20% dan 40% berturut-turut adalah 11,600 kg/cm², 11,337 kg/cm², 10,148 kg/cm² dan 6,223 kg/cm² pada pemeraman 28 hari dan dilakukan curing time (pemeraman) 0, 7, 14, 21 dan 28 hari menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat tekan bebas berturut-turut adalah 10,278 kg/cm², 10,681 kg/cm², 11,004 kg/cm², 11,159 kg/cm² dan 11,600 kg/cm² pada campuran fly ash 5%. Nilai kuat tekan bebas yang terbesar terjadi pada campuran fly ash 5% dengan pemeraman 28 hari yaitu sebesar 11,600 kg/cm².

Kata kunci : fly ash, timbunan biasa, tanah, kuat tekan bebas

ABSTRACT

In Indonesia, the use of coal as a raw material for the PLTU industry is increasing, thus increasing waste that can pollute the environment in the form of fly ash. To reduce environmental pollution, fly ash waste is used as a stabilization mixture for ordinary landfills. The soil on the rubber road in West Pontianak sub-district after physical and mechanical tests meets the specifications of the Bina marga division 3, earthwork and geosynthetic including ordinary landfill. This test aims to determine the effect of using coal waste in the form of fly ash as a stabilizing agent to increase the bearing capacity of the soil against the compressive strength test (UCS). From the test results, the addition of fly ash to ordinary landfill can increase the value of the free compressive strength test of the original soil by 4.389 kg / cm² to 11.600 kg / cm², curing for 28 days in a 5% fly ash mixture, so the use of fly ash can be used for stabilization on the soil. ordinary heap. For soil mixtures with fly ash in the mix variations of 5%, 10%, 20% and 40% fly ash mixtures are 11,600 kg / cm², 11,337 kg / cm², 10.148 kg / cm² and 6.223 kg / cm² at 28 days of ripening and carried out curing time (ripening) 0, 7, 14, 21 and 28 days showed an increase in the value of free compressive strength, respectively 10,278 kg / cm², 10,681 kg / cm², 11,004 kg / cm², 11,159 kg / cm² and 11,600 kg / cm² for 5% fly ash mixture. The largest value of compressive strength test occurred in a mixture of 5% fly ash with 28 days of ripening, which was 11.600 kg / cm².

Keywords: fly ash, ordinary heap, soil, compressive strength test

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia penggunaan batu bara untuk bahan baku sebagai pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) semakin meningkat, semakin meningkatnya penggunaan batu bara semakin meningkat juga limbahnya. Pada saat pembakaran batu bara di PLTU, terdapat limbah padat yaitu berupa abu terbang dan abu dasar. Kandungan kimia yang terdapat pada *fly ash* antara lain adalah silika, alumina, fero oksida dan kalsium oksida. Didalam kandungan berupa hasil senyawa kimia ini mempunyai suatu sifat *selfcementing* (berkemampuan untuk mengeras dan untuk menambah kekuatan apabila bereaksi dengan zat cair berupa air).

Dengan dibangunnya industri-industri PLTU tersebut, limbah yang dihasilkan pun semakin melimpah sehingga bisa mencemari lingkungan. Untuk mengatasi itu maka perlu dicari penanganannya yaitu dengan cara di jadikan bahan stabilisasi kimiawi untuk timbunan tanah, bahan stabilisasi yang digunakan adalah abu terbang.

Untuk timbunan tanah yang digunakan di penelitian ini adalah tanah timbunan biasa yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 menurut AASHTO M145 dan CBR tidak kurang lebih dari 6% setelah melakukan perendaman selama 4 hari dan apabila dipadatkan sebesar 100% kepadatan kering maksimum (MDD). Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah di jalan karet kecamatan pontianak barat yang telah dilakukan uji fisis dan mekanis memenuhi spesifikasi tanah timbunan biasa.

Berdasarkan permasalahan tersebut diatas, maka merumuskan berapa persentase campuran limbah batu bara (*fly ash*) yang paling besar peningkatan nilai q_u nya dan apakah penggunaan limbah batu bara (*fly ash*) sebagai bahan stabilisasi dapat digunakan untuk meningkatkan nilai q_u dan berapa besar perbandingan nilai q_u sebelum dan sesudah distabilisasi dengan limbah batu bara.

Penelitian yang dilakukan ini mempunyai tujuan yaitu untuk memperoleh data nilai q_u , sehingga dapat di bandingkan saat tanah sebelum diberi campuran *fly ash* dan saat sesudah diberikan campuran *fly ash*.

Tinjauan Pustaka

1. Definisi Tanah

Tanah adalah unsur-unsur diantara dua atau tiga fase yang begitu berbeda. Apabila tanah saat dalam keadaan kering maka terdiri dari dua fase berupa partikel padat dan pori-pori udara. Tanah keadaan jenuh keseluruhnya juga merupakan dari dua fase anatar partikel padat dan air pori. Jika saat tanah dalam keadaan jenuh sebagian maka terdiri dari tiga fase yaitu partikel padat, pori-pori udara dan air pori.

2. Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air tanah ($w\%$) yaitu perbandingan diantara berat air (W_w) tanah dan berat butiran (W_s) tanah. satuan dari hasil nilai kadar air suatu tanah dinyatakan berupa kedalam satuan persen. Persamaan kadar air tanah atau ($w\%$) dinyatakan dalam persamaan berikut adalah :

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

3. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat Jenis Tanah (G_s) dapat diartikan sebagai perbandingan di antara berat suatu volume butiran tanah (γ_s) dengan berat suatu volume air (γ_w) dengan isi tanah yang sama yang terdapat pada temperatur tertentu. Nilai yang terdapat disuatu dari berat jenis tanah tidak mempunyai satuan (tidak berdimensi). Berat jenis suatu tanah (G_s) dapat dinyatakan kedalam bentuk persamaan dibawah ini adalah :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2)$$

4. Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Kedudukan suatu jenis fisik tanah yang berbutir halus pada kadar air tanah tertentu di sebut sebagai konsistensi. Batas-batas suatu konsistensi tanah yang berbutir halus tersebut diantara lain adalah batas cair, batas plastis, batas susut.

Batas cair yaitu dimana kadar air pada tanah yang terdapat pada batas antara keadaan cair tanah dan keadaan plastis tanah.

Batas plastis tanah yaitu ketika dimana kadar air tanah pada saat batas bawah daerah plastis tanah atau kadar air tanah minimum dimana tanah dapat dibuat dengan cara digulung-gulung sampai berdiameter 3,1 mm (1/8 inchi).

Batas susut tanah yaitu dimana kadar air tanah atau batas dimana tanah dalam suatu keadaan jenuh dan sudah sangat-sangat kering sehingga tidak akan bisa mengalami penyusutan lagi meskipun dikeringkan lagi secara terus menerus.

5. Pemadatan Tanah (*Compaction*)

Pemadatan tanah yaitu dimana suatu proses udara pada rongga-rongga tanah dikeluarkan dengan mekanis atau suatu fase berkurangnya volume tanah diakibat dari suatu energi mekanis tersebut, pengaruh dari suatu kadar air dan gradasi butiran tanah. Tujuan dari pemadatan ini yaitu untuk mendapatkan nilai KOA dan MDD yang didapat dari grafik hubungan diantara kadar air (w) dan γ_k hasil pemadatan.

6. Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Salah satu cara pengujian yang dapat digunakan untuk mencari parameter kuat geser tanah yaitu dengan uji kuat tekan bebas. Maksud dari kekuatan tekan bebas yaitu besarnya suatu beban aksial persatuan luas pada benda uji mengalami suatu keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15 % (SNI 3638-2012). Pengujian kuat tekan bebas yang dilakukan di laboratorium dapat dilakukan pada suatu sampel tanah dalam wujud asli maupun buatan (*remoulded*).

7. Klasifikasi Tanah

Kebanyakan klasifikasi tanah yaitu menggunakan indeks tipe pengujian yang begitu sederhana untuk mendapatkan karakteristik tanahnya. Suatu karakteristik tanah tersebut sangat berguna pada saat menentukan kelompok klasifikasi tanah. Pada dasarnya klasifikasi tanah tersebut didasarkan pada suatu ukuran partikel diperoleh dari suatu analisa saringan dengan plastisitas tanah. Terdapat suatu tiga sistem klasifikasi tanah tersebut yang dapat dipergunakan yaitu diantara lain adalah USDA, AASHTO dan USCS.

8. Tanah Timbunan

Tanah timbunan merupakan suatu kegiatan meletakkan atau menambah volume material yang serupa atau material lain yang mempunyai tujuan untuk menaikkan elevasi permukaan sehingga mendapatkan permukaan yang lebih baik.

9. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Pada saat terjadinya pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), terdapat suatu limbah padat berupa abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*).

10. Uji Tanah Dicampur dengan Abu Terbang

Pembentukan kekuatan campuran tanah - abu terbang sangat bergantung pada waktu. Kenaikan kekuatan yang cepat terjadi pada waktu perawatan 7-28 hari, dan kenaikannya menjadi berkurang pada waktu-waktu sesudahnya (White et al., 2005, dalam Hary C.H, 2010).

II. METODOLOGI PENELITIAN

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dipakai adalah pengumpulan data primer yaitu data yang didapat dari sumbernya, diamati dan dilakukan pencatatan untuk pertama kali oleh peneliti itu sendiri. Dalam penelitian ini data primernya adalah hasil dari penelitian yang dilakukan pada tiap-tiap percobaan.

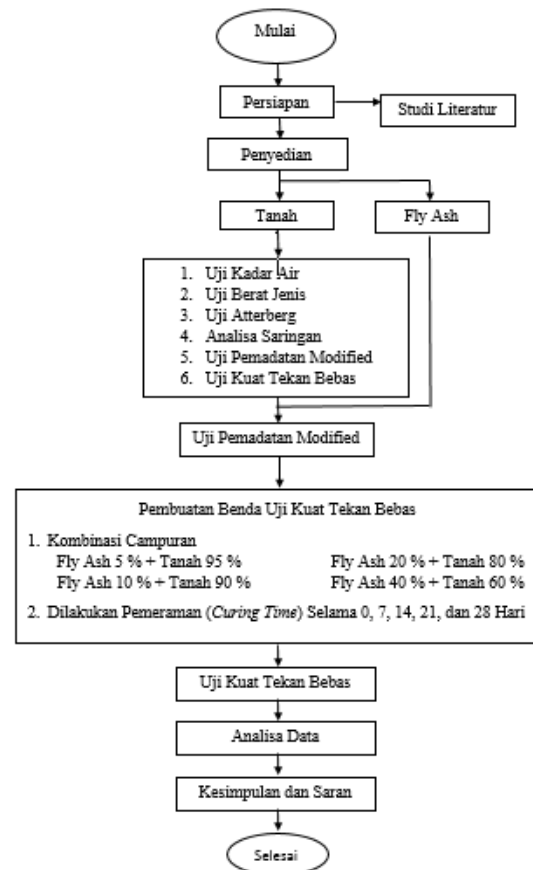
Lokasi pengambilan sampel tanah yaitu menggunakan sampel tanah lempung tak utuh atau terganggu yang diambil di jalan karet kecamatan Pontianak Barat, Kota Pontianak, Kalimantan Barat. Data-data yang didapat dari uji laboratorium adalah sebagai berikut :

1. Analisa Saringan.
2. Angka Angka Konsistensi Atterberg .
3. Berat Jenis Tanah.
4. Pemeriksaan Kompaksi.
5. Pemeriksaan UCS.

Sampel untuk uji UCS kemudian dilakukan pemeraman selama 0, 7, 14, 21, 28 hari. Setelah dilakukan pemeraman lalu di uji UCS dan di buat grafik sehingga didapat nilai campuran tanah + *fly ash* tertinggi. Untuk variasi campuran sampel dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Variasi Campuran *Fly Ash* + Tanah

Variasi Campuran
<i>Fly Ash</i> 5 % + Tanah 95 %
<i>Fly Ash</i> 10 % + Tanah 90 %
<i>Fly Ash</i> 20 % + Tanah 80 %
<i>Fly Ash</i> 40 % + Tanah 60 %



Gambar 1. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN ANALISA DATA

Hasil Analisa Bahan *Additive Fly Ash*

Tabel 2. Hasil Analisa Kimia *Fly Ash*

No	Parameter	Hasil (%)
1	SiO ₂ as Silicon Dioxide	23,89
2	Al ₂ O ₃ as Aluminium Dioxide	11,19
3	Fe ₂ O ₃ as Iron (II) Oxide	17,62
4	CaO as Calcium Oxide	12,71
5	MgO as Magnesium Oxide	1,98
6	SO ₃ as Sulfur Trioxide	2,44
7	Na ₂ O as Natrium Oxide	8,90
8	K ₂ O as Kalium Oxide	6,69
9	Loss of Ignition	12,06
10	Total Moisture	0,47

Klasifikasi yang dicantumkan dalam ASTM C 618 didasarkan pada sumber dari asal batu bara dan kadar oksida dari elemen pembentuk utamanya. Dari tabel 2. termasuk kedalam klas C yaitu dengan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (minimum 50%) = $23,89 + 11,19 + 17,62 = 52\%$.

Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah Asli

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisik Tanah Asli

NO	Parameter Penujian	Hasil Pengujian
1	Kadar Air (w = %)	90,26
2	Berat Volume ($\gamma_d = \text{gr/cm}^3$)	1,420
3	Berat Jenis (G)	2,503
4	Batas Cair (LL = %)	43,170
5	Batas Plastis (PL = %)	27,156
6	Indeks Plastisitas (IP = %)	16,015
7	Pemeriksaan Hidrometer (%)	
	o 0,0301 mm	62,40
	o 0,0197 mm	58,24
	o 0,0085 mm	43,68
	o 0,0062 mm	35,36
	o 0,0031 mm	24,96
	o 0,0013 mm	14,56
8	Lewat Saringan (%)	
	o 0,075 mm	97,44
	o 0,125 mm	97,64
	o 0,180 mm	97,74
	o 0,250 mm	97,82
	o 0,425 mm	98,06
	o 0,850 mm	99,42

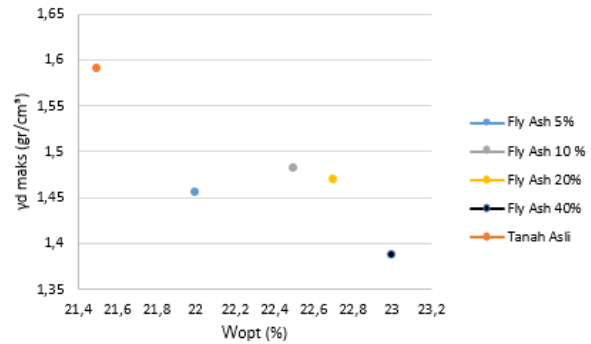
Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Pematatan Tanah Asli

Pengujian Pematatan	Nilai
Kadar air optimum (%)	21,50
Berat isi kering maksimum (gr/cm^3)	1,590

Hasil Pemeriksaan Uji Pematatan Tanah yang di Campur Bahan Additive Fly Ash

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Pematatan Tanah yang di Campur Fly Ash

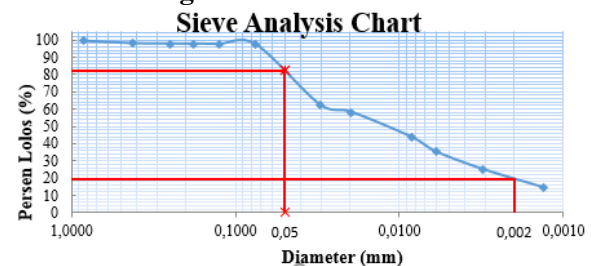
No	Variasi Campuran	γ_d maks (gr/cm^3)	Wopt (%)
1	Fly Ash 5 % + Tanah 95 %	1,456	22,00
2	Fly Ash 10 % + Tanah 90 %	1,482	22,50
3	Fly Ash 20 % + Tanah 80 %	1,470	22,70
4	Fly Ash 40 % + Tanah 60 %	1,387	23,00



Gambar 2. Grafik hubungan Wopt (%) Vs γ_d maks (gr/cm^3)

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan *additive* akan meningkatkan *Woptimum* akan tetapi pada γ_d maksimum mengalami penurunan hanya saja pada saat ditambah fly ash 10% mengalami peningkatan sebesar $1,482 \text{ gr/cm}^3$ dari kadar fly ash 5% yaitu $1,456 \text{ gr/cm}^3$ dan yang memiliki kadar air optimum tertinggi terjadi di penambahan *additive fly ash* 40% yaitu sebesar 23% sedangkan γ_d maksimum tertinggi terjadi di tanah asli tanpa adanya penambahan *additive (fly ash)* yaitu sebesar $1,59 \text{ gr/cm}^3$.

Analisa Saringan dan Hidrometer



Gambar 3. Grafik distribusi butiran tanah (*Grain Size Distribution*)

Jadi didapatkan besar persenan dari pasir, lanau dan lempung adalah sebagai berikut :

- o Kerikil = 0 %
- o Pasir = 17,5%
- o Lanau = 63%
- o Lempung = 19,5%

Hasil Pemeriksaan Uji Kuat Tekan Bebas Tanah Asli

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (q_u) Tanah Asli

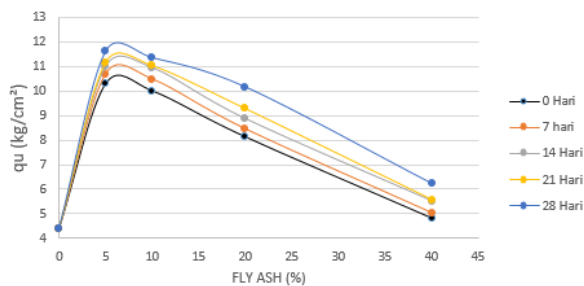
NO	No. Sampel	A1	A2
1	q_u (kg/cm^2)	4,421	4,357
2	Rata-rata q_u (kg/cm^2)	4,389	

Hasil Pemeriksaan Uji Kuat Tekan Bebas Tanah yang di Campur Bahan Additive (Fly Ash)

Tabel 7. Rata-rata Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (qu) Tanah yang di Campur Bahan Additive Fly Ash

Fly Ash	Lama Pemeraman				
	0 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
5%	10,278 kg/cm ²	10,681 kg/cm ²	11,004 kg/cm ²	11,159 kg/cm ²	11,600 kg/cm ²
10%	9,992 kg/cm ²	10,473 kg/cm ²	10,947 kg/cm ²	11,026 kg/cm ²	11,337 kg/cm ²
20%	8,121 kg/cm ²	8,447 kg/cm ²	8,874 kg/cm ²	9,276 kg/cm ²	10,148 kg/cm ²
40%	4,817 kg/cm ²	5,037 kg/cm ²	5,322 kg/cm ²	5,573 kg/cm ²	6,223 kg/cm ²

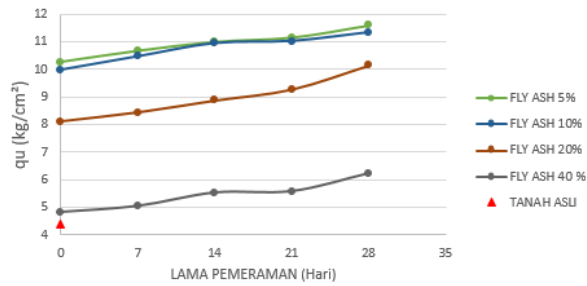
Pengaruh Penambahan Additive (Fly Ash) Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (qu)



Gambar 4. Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Bebas Vs Penambahan Jumlah Fly Ash

Dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah additive (*fly ash*) berdasarkan nilai kuat tekan bebas yang paling efektif dan efisien adalah 5% pada masa pemeraman 28 hari yaitu sebesar 11,600 kg/cm² dan apabila ditambah kadar fly ash 10%, 20% dan 40% maka nilai kuat tekan bebas mengalami penurunan terus menerus. Campuran yang paling optimal terdapat di campuran fly ash 5% sehingga mendapatkan nilai kuat tekan bebas tertinggi. Bertambahnya jumlah fly dan berkurangnya jumlah tanah pada campuran fly ash 10%, 20% dan 40% mengalami penurunan karena fly ash mengalami over atau kelebihan, akibat dari kelebihan fly ash tersebut maka fly ash tidak dapat bagian untuk mengikat tanah sehingga menyebabkan terdapatnya rongga-rongga pada campuran fly ash dan tanah. Akibat adanya rongga-rongga tersebut adalah dapat mengurangi daya dukung tanah.

Pengaruh Penambahan Additive (Fly Ash) Berdasarkan Lama Pemeraman (Curing Time) Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (qu)



Gambar 5. Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan Bebas Fly Ash Vs Lama Pemeraman (Curing Time)

Berdasarkan uraian diatas dari gambar 5. dapat disimpulkan bahwa semakin lama pemeraman semakin besar nilai kuat tekan bebas nya karena terjadi pengerasan dan bertambahnya kekuatan yang diakibatkan dari suatu kandungan berupa senyawa kimia yang terdapat pada suatu *fly ash* antara lain adalah berupa silika, alumina, fero oksida dan kalsium oksida. Dalam kandungan berupa senyawa kimia ini mempunyai sifat berupa *selfcementing* (berkemampuan untuk mengeras dan untuk menambah kekuatan apabila bereaksi dengan zat cair berupa air).

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium dan Analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengklasifikasi jenis tanah yang diteliti berdasarkan metode USDA adalah "Tanah Liat Berlanau (*Silt Loam*)".
2. Pengklasifikasi jenis tanah yang diteliti berdasarkan metode AASHTO diklasifikasikan dalam jenis tanah A-7-6 (18).
3. Pengklasifikasi jenis tanah yang diteliti berdasarkan metode USCS yang paling dominan adalah CL yaitu Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, dan lempung kuarus (*clean clays*).
4. Kadar air optimum semakin meningkat bila ditambahkan jumlah *fly ash* dari tanah asli sebesar 21,5% menjadi 23% pada campuran *fly ash* 40% dan menurunkan kepadatan kering maksimum dari tanah asli sebesar 1,590 gr/cm³ menjadi 1,387 gr/cm³.
5. Penambahan *fly ash* terhadap tanah timbunan biasa dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas dari tanah asli sebesar 4,389 kg/cm² menjadi 11,600 kg/cm² pemeraman selama 28 hari pada campuran fly ash 5%, sehingga penggunaan *fly ash* dapat digunakan untuk stabilisasi pada tanah timbunan biasa.

6. Bertambahnya jumlah kadar fly ash dapat mengakibatkan penurunan terus menerus pada nilai kuat tekan bebas dari campuran 5%, 10%, 20% dan 40% berturut-turut adalah 11,600 kg/cm², 11,337 kg/cm², 10,148 kg/cm² dan 6,223 kg/cm² pada pemeraman 28 hari.
7. Semakin lama waktu pemeraman (*curing time*) mulai dari 0, 7, 14, 21 dan 28 hari pada penambahan fly ash, dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas berturut-turut yaitu sebesar 10,278 kg/cm², 10,681 kg/cm², 11,004 kg/cm², 11,159 kg/cm² dan 11,600 kg/cm² pada campuran fly ash 5%.

Saran

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa saran yang saya dapat berikan yaitu sebagai berikut :

1. Pada saat melakukan pencampuran tanah dengan fly ash dan air sebaiknya dilakukan pengadukan sampai sangat homogen sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Pada saat melakukan pemadatan untuk mencari kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum, tanah dan fly ash yang telah dicampur dengan air jangan langsung dilakukan penumbukan sebaiknya perlu dilakukan pemeraman sehingga reaksi kimia dari fly ash bereaksi dengan baik, begitu juga dengan pembuatan sampel untuk uji kuat tekan bebas.
3. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penambahan bahan *additive* yang berbeda seperti kapur sehingga dapat diketahui nilai kuat tekan bebas yang lebih efektif dan efisien.
4. Untuk penelitian selanjutnya setiap campuran fly ash dan tanah dilakukan uji sifat fisik sehingga data yang didapatkan lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, Indra. 2020. *Studi Pengaruh Bahan Limbah Karbit Dan Semen Portland Terhadap Kuat Geser Pada Stabilisasi Tanah Lempung Kota Pontianak*. Fakultas Teknik: Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- K, Rama Indera, Enden Mina, dan Akbar Prasetyo Hutomo. 2017. Stabilisasi Tanah Menggunakan Fly ash terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Berdasarkan Variasi Kadar Air Optimum (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegoro, Kab. Serang). *Jurnal Fondasi*, Vol. 6 (1). Hlm. 1-10.
- K, Rama Indera, Enden Mina, dan Supandi. 2017. Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Desa Sudimanik Kec. Cibaliung

Kab. Pandeglang). *Jurnal Fondasi*, Vol. 6 (2). Hlm. 24-33.

- K, Rama Indera, Enden Mina, dan Taufik Rahman. 2016. Stabilisasi Tanah Dengan Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). *Jurnal Fondasi*, Vol. 5 (1). Hlm. 97-106.
- Leliana, Arianda., dan Nur Andajani. 2015. Pengaruh Penambahan Fly ash Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Magetan Jawa Timur. *Rekayasa Teknik Sipil*, Vol. 1 (1). Hlm. 1-8.
- Soedarmo, G. Djabatmiko., dan S. J. Edy Purnomo. 1997. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Kanisius.
- SNI 1742-2008, Cara Uji Kepadatan Berat Untuk Tanah.
- SNI 3638-2012, Metode Uji Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif.
- SNI 03-1742-1989, Metode Pengujian Pemadatan Ringan Untuk Tanah.