

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATU BARA  
(FLY ASH) PADA TANAH LEMPUNG SANGAT LUNAK TERHADAP  
KUAT GESER TANAH**

***EFFECT OF COAL WASTE  
(FLY ASH) ADDITION ON THE SHEAR STRENGTH OF VERY SOFT  
CLAY SOIL***

**Kukuh Prihatin**

Staf Pengajar Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda

E-mail: kukuh\_prihatin@yahoo.com

**INTISARI**

Tanah lempung sangat lunak dominan di wilayah Kalimantan Timur. Jenis tanah ini memiliki daya dukung yang rendah serta jangka waktu settlement yang tinggi dan lama. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa fly ash dapat digunakan sebagai stabilizer untuk meningkatkan karakteristik tanah lempung yang sangat lunak. Fokus penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh penambahan fly ash terhadap sifat fisik dan mekanik tanah lempung yang sangat lunak. Untuk mencapai tujuan ini, berbagai campuran tanah disiapkan dengan memvariasikan kadar fly ash ditambahkan ke tanah sebagai berikut: 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Tes Volumetrik-gravimetri dan geser langsung dilakukan pada campuran tanah tersebut. Hasil dari pengujian tanah asli dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung dengan plastisitas menengah ( $PI = 14\% < 17\%$ ) berdasarkan AASHTO. Juga, berdasarkan hasil uji geser nilai kohesi dan sudut geser internal 3,0 KPa dan  $2,14^\circ$ . Penambahan 15% dari fly ash dapat meningkatkan nilai kohesi menjadi 5 KPa, tetapi menurunkan nilai sudut geser menjadi  $1,6^\circ$

**ABSTRACT**

*Very soft clay soil is dominant in East Kalimantan region. This type of soil has low bearing capacity as well as high and long settlement period. Previous studies have shown that fly ash can be used as stabilizer to improve the characteristics of very soft clay soil. The focus of this study is to understand the effect of fly ash addition on the physical and mechanical properties of very soft clay soil. To achieve this goal, various soil mixtures are provided by varying the portion of fly ash added to the soils as follow: 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. Volumetric-gravimetric and direct shear tests are then performed for those soil mixtures. It is found that the original soil can be classified as clay with medium plasticity ( $PI=14\%<17\%$ ) based on AASHTO. Also, the cohesion and internal friction angle values are 3,0 KPa and  $2,14^\circ$ , respectively based on direct shear test result. More importantly, a 15% addition of fly ash can increases the cohesion value to a level of 5 KPa, but decreases the internal friction angle value to a level of  $1,6^\circ$*

**Key words :** *fly ash, very soft clay, shear strength*

**PENDAHULUAN**

Pertumbuhan penduduk yang tinggi mengakibatkan kebutuhan lahan untuk hunian dan aktivitas penduduk bertambah,

sedangkan seringkali di lapangan banyak dijumpai tanah sangat buruk yaitu tanah lempung sangat lunak yang memiliki daya

dukung tanah rendah dan penurunan yang sangat besar. Akibat kondisi tersebut menyebabkan kegagalan dan kerusakan pada struktur di atasnya, seperti jalan yang bergelombang, tembok rumah retak-retak, runtuhnya *abutment* jembatan dan lain-lain.

Untuk meningkatkan daya dukung tanah dan memperkecil penurunan maka dilakukan perbaikan tanah dengan banyak cara, yaitu dengan mengganti tanah yang jelek dengan material tanah yang lebih baik, selain itu dapat dengan cara stabilisasi, mencampur material tanah yang jelek dengan material kapur, semen atau bahan lainnya, seperti *fly ash*.

*Fly ash* adalah salah satu hasil dari polutan padat yang diperoleh dari hasil pembakaran batu bara. Dari pembakaran tersebut dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*), di mana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* dan sekitar 80-90% *fly ash* dari total abu yang dihasilkan. Produksi batubara pada tahun 2010 diperkirakan sekitar 153 juta ton, sedangkan pemakaian dalam negeri pada tahun tersebut adalah 108 juta ton, sedangkan sisanya 45 juta ton merupakan jumlah yang dapat diekspor. Semakin meningkatnya pemakaian batubara, maka beban lingkungan juga akan semakin berat dan perlu diantisipasi dengan pemakaian teknologi batubara bersih dan pemanfaatan secara optimal dari limbah batubara (*fly ash*).

Penelitian Sulistyowati (2006) menunjukkan adanya peningkatan daya dukung nilai CBR yang paling efektif terjadi pada stabilisasi tanah lempung ekspansive dengan kadar *fly ash* 15%.

#### TINJAUAN PUSTAKA

Menurut penelitian Sulistyowati (2006) yang menggunakan tanah lempung yang terdiri atas campuran 55% kaolinite dan 45% bentonit, yang merupakan tanah lempung ekspansif dan perbaikan tanah

dilakukan dengan cara stabilisasi dengan menggunakan kadar *fly ash* yang bervariasi yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 25%. Sedangkan pemeraman dilakukan selama 7, 14 atau sampai 21 hari. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan stabilisator memberikan manfaat positif terhadap penanggulangan masalah yang ditimbulkan oleh tanah lempung ekspansif dalam arti dapat meningkatkan kekuatan daya dukung tanah yang bersangkutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase yang paling efektif untuk stabilisasi adalah *fly ash* dengan kadar 15% dan masa peram selama 7 - 14 hari.

Prabandiyani, 2008 dalam penelitiannya tentang perilaku stabilisasi tanah *subgrade* dengan 2% semen + 4% *fly ash* dengan *Cyclic Loading*. Hasilnya adalah stabilisasi tanah *subgrade* dengan 2% semen + 4% *fly ash* dapat meningkatkan kohesi tanah dari tanah aslinya 10,5 kPa menjadi 48,5 kPa, sedangkan sudut geser dalam tanah menurun dari kondisi tanah asli 37,48° menjadi 36,8°.

#### *Fly ash*

*Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), posfor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan carbon. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan. Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya dapat dilihat pada **Tabel 1**. berikut :

Tabel 1. Komposisi dan Klasifikasi Fly ash

Komponen	Bituminus (%)	Subbitumin (%)	Lignit (%)
SiO <sub>2</sub>	20 – 60	40 - 60	15 - 45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 – 35	20 - 30	20 - 25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 – 40	4 - 10	4 - 15
CaO	1 – 12	0 - 30	15 - 40
MgO	0 – 5	1 - 6	3 - 10
SO <sub>3</sub>	0 – 4	0 - 2	0 - 10
Na <sub>2</sub> O	0 – 4	0 - 2	0 – 6
K <sub>2</sub> O	0 – 3	0 - 4	0 - 4
LOI	0 – 15	0 - 3	0 - 5

Sumber : Prabandiyani, 2008

Menurut ASTM C618 fly ash dibagi menjadi dua kelas yaitu fly ash kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua ash tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi di ash tersebut. Walaupun kelas F dan kelas C sangat ketat ditandai untuk digunakan fly ash yang memenuhi spesifikasi ASTM C618, namun istilah ini lebih umum digunakan berdasarkan asal produksi batubara atau kadar CaO.

**Fly ash kelas F:** merupakan fly ash yang diproduksi dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous, mempunyai sifat pozzolanic dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan quick lime, hydrated lime, atau semen. Fly ash kelas F ini kadar kapurnya rendah (CaO < 10%).

**Fly ash kelas C:** diproduksi dari pembakaran batubara lignite atau sub-bituminous selain mempunyai sifat pozzolanic juga mempunyai sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah strength apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. Biasanya mengandung kapur (CaO) > 20%.

Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan

limbah fly ash untuk keperluan perbaikan tanah dengan cara stabilisasi. Stabilisasi ada dua yaitu mekanis dan kimiawi. Stabilisasi mekanis yaitu menambah kekuatan dan daya dukung tanah dengan mengatur gradasi butiran tanah, perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah dengan berbagai macam alat mekanis, seperti mesin gilas, benda berat yang dijatuhkan, peledak dan lain-lain. Stabilisasi kimiawi yaitu untuk menambah kekuatan dan daya dukung tanah dengan jalan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan menambahkan bahan pencampur atau tambahan (aditif), seperti : kerikil untuk lempung, lempung untuk tanah berbutir kasar, pencampur kimia (semen Portland, gamping/kapur, fly ash, aspal, dan lain-lain). Karakteristik parameter fly ash sama dengan tanah, seperti specific gravity, ukuran butiran tanah, atterberg limit dan lain-lain, seperti dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut :

Tabel 2. Sifat-sifat Fly Ash

Parameter	Fly Ash
Specific gravity	1,9 – 2,55
Pemadatan Proctor, Berat volume tanah kering (gr/cm <sup>3</sup> )	0,9 – 1,6
Kadar air optimum (%)	18 – 38
Sudut geser dalam (°)	30 - 40
Plastisitas	Non Plastis
Distribusi Ukuran Butiran	
Lempung (%)	1 – 10
Lanau (%)	8 – 85
Pasir (%)	7 – 90
Kerikil (%)	0 – 10
Koefisien keseragaman	3,1 – 10,7

Sumber : Parisara, 2007

**Batas-batas Atterberg**

Sifat yang paling penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitas, yang

disebabkan oleh adanya partikel lempung dalam tanah. Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak. Sifat plastisitas tanah dapat ditunjukkan dari nilai indeks plastisitas yang dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut :

### Klasifikasi Tanah

Sistem Klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam kelompoknya dievaluasi berdasarkan indeks kelompoknya. Pengujian yang digunakan adalah analisa saringan dan batas – batas Atterberg.

### Kekuatan Geser Tanah

Nilai kekuatan geser tanah antara lain diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah atau untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan tanah.

Kekuatan geser tanah dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir-butir tanah itu. Sesuai dengan hal tersebut maka seringkali tanah dibagi dalam tanah kohesif dan tanah non kohesif.

Untuk memperoleh nilai kekuatan geser tanah maka dapat dilakukan pengujian geser langsung (*direct shear test*) yang akan diperoleh nilai sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ) dan kohesi (C).

### TUJUAN PENELITIAN

Dari permasalahan di atas maka tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui karakteristik fisik dan mekanis (sudut geser dalam tanah,  $\phi$  dan kohesi, C) tanah lempung lunak yang digunakan sebelum

Tabel 3. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah (Jumikis, 1962)

PI	Sifat Plastisitas	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	tinggi	Lempung	Kohesif

dan sesudah stabilisasi dengan variasi *fly ash* 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%.

Sumber : Hardiyatmo, 2010

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda. Benda uji merupakan tanah lempung lunak yang divariasikan dengan *fly ash* tertentu.

### Material yang digunakan

#### 1. Fly Ash

Material *fly ash* didatangkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Lati Berau Kalimantan Timur.

Material yang digunakan adalah material *fly ash* kering oven lolos ayakan no. 200 (diameter 0,075 mm).

#### 2. Tanah

Tanah diambil dari Bendungan Lempake Samarinda dan selanjutnya dilakukan pengujian analisa ayak, hidrometer dan *atterberg limit* untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan sistem AASHTO.

Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah kering oven lolos ayakan No. 10 (diameter 2 mm).

#### 3. Campuran Fly Ash dan Tanah

Komposisi campuran antara material tanah dan *fly ash* yang akan dilakukan pengujian

geser langsung (*direct shear*) dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut :

Tabel 4. Komposisi material pengujian

Sampel	Tanah (%)	Fly Ash (%)
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20
6	75	25

**Persiapan material**

Campuran *fly ash* dan tanah disiapkan dengan komposisi campuran seperti pada Tabel 4 diatas, dimana kadar *fly ash* tersebut diambil terhadap berat kering tanah.

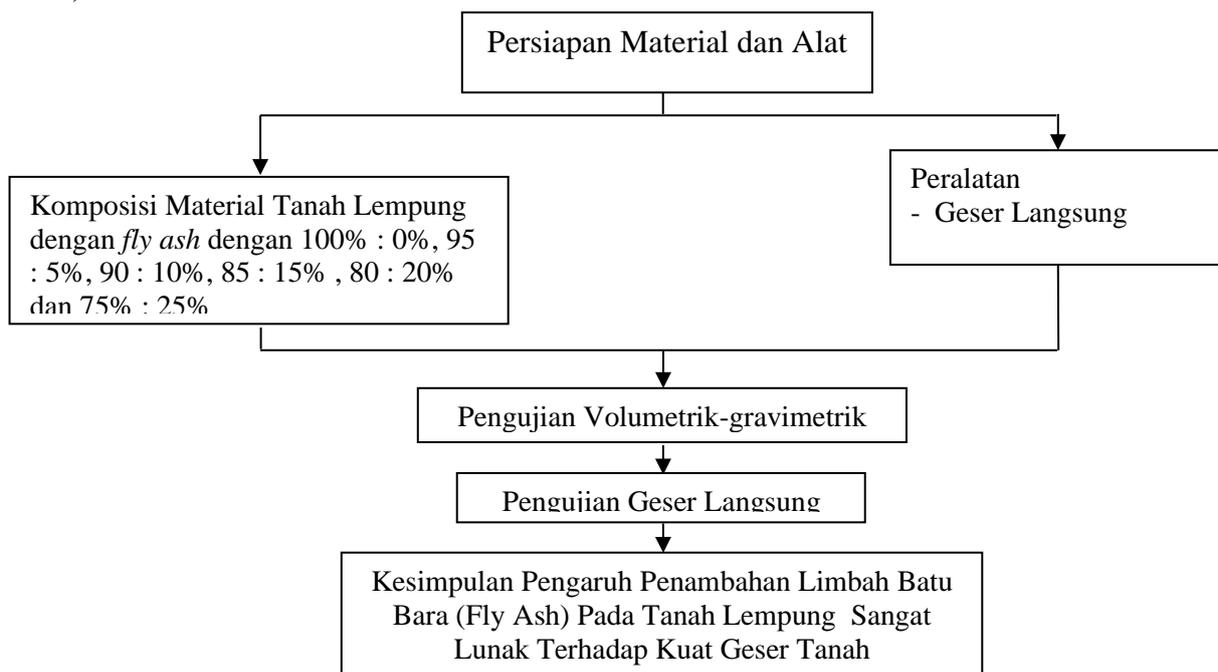
**Pengujian Benda Uji**

Dari material tanah yang akan diuji, maka dilakukan langkah-langkah berikut :

- a. Pengujian sifat fisik tanah meliputi uji kadar air (*w*), *specific gravity* (*G<sub>s</sub>*), berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ) dan *atterberg limit* (meliputi uji batas cair, LL dan batas plastis, PL untuk mendapatkan nilai indeks plastisitas, IP).

- b. Pengujian geser langsung (*direct shear test*) dilakukan untuk memperoleh nilai kohesi (*C*) dan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ). Setelah variasi campuran dengan komposisi *fly ash* (FA) 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25 % dibuat dan diperam selama 1 (satu) hari maka masing-masing sampel dicetak dengan diameter ring = 6,38 cm dan tinggi ring = 1,6 cm dengan cara dipadatkan sampai semua sampel masuk ke dalam cetakan agar diperoleh berat volume tanah yang sama. Sesaat sebelum pengujian, kotak geser diberi air sampai sampel yang ada didalam kotak terendam air. Uji geser dilaksanakan dengan masing-masing sampel dilakukan 3 (tiga) kali uji dan tiap-tiap uji diberi tegangan normal 6,3 kPa, 12,5 kPa dan 18,8 kPa. Besaran kuat geser tanah ditentukan berdasarkan tegangan puncak.

Untuk memahami langkah-langkah pengujian maka dapat dilihat pada diagram alir **Gambar 1**. di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan dan Jenis Pengujian yang Dilakukan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Tanah Asli dan Fly Ash

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanis dari tanah asli dan fly ash dapat dilihat pada Tabel 5. berikut :

Tabel 5. Hasil Pengujian Tanah Asli dengan Fly ash

<u>Pengujian Laboratorium</u>				<u>Tanah asli</u>	<u>Fly ash</u>
<u>Kadar air</u>	<u>W</u>	<u>%</u>		<u>30,66</u>	<u>5,79</u>
<u>Spesific Gravity</u>	<u>G<sub>s</sub></u>	-		<u>2,53</u>	<u>2,41</u>
<u>Bobot isi tanah basah</u>	-	<u>γ<sub>b</sub></u>	<u>kN/m<sup>3</sup></u>	<u>19,7</u>	-
<u>Atterberg Limit</u>	<u>Liquid Limit</u>	<u>LL</u>	<u>%</u>	<u>31,40</u>	-
	<u>Plastis Limit</u>	<u>PL</u>	<u>%</u>	<u>17,40</u>	-
	<u>Indeks Plastisitas</u>	<u>IP</u>	<u>%</u>	<u>14,00</u>	-
<u>Direct Shear</u>	<u>Kohesi</u>	<u>C</u>	<u>kPa</u>	<u>3,0</u>	-
	<u>Sudut geser dalam tanah</u>	<u>φ</u>	<u>°</u>	<u>2,41</u>	-

**Fly Ash**

Sampel fly ash diambil dari PLTU Lati Berau Kalimantan Timur dan hasil pembakaran dari batubara tersebut adalah sub-bituminous (sumber : PT. Berau Coal) dengan kandungan sulfur relatif rendah yaitu kurang dari 1% dan kadar abu rendah, sehingga dapat dikategorikan sebagai fly ash kelas C yang mempunyai sifat pozzolanic dan sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah strength apabila bereaksi dengan air), dimana sifat ini timbul tanpa penambahan kapur.

Berdasarkan hasil analisa ayak dan hidrometer terhadap fly ash diperoleh kandungan kerikil = 6,22%, pasir = 43,78% dan lanau-lempung = 50%.

**Tanah Asli**

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO tanah asli dengan tanah lolos ayakan no.

200 sebesar 45,84% > 35%, LL = 31,4% (max 40%) dan PI = 14% (min. 11%) dapat dikategorikan ke dalam kelompok tanah berlempung A-6 (indeks kelompok, GI = 12) dengan penilaian umum sebagai tanah dasar sedang sampai buruk. Dilihat dari tingkat pengembangannya, tanah tersebut memiliki sifat plastisitas sedang (PI = 7 – 17%) (Jumikis, 1962) dan berdasarkan uji kuat tekan bebas diperoleh kohesi undrained sebesar 3,0 kPa (< 24 kPa) yang merupakan konsistensi lempung sangat lunak (Das, B.M , 2008).

**Pengujian Geser Langsung**

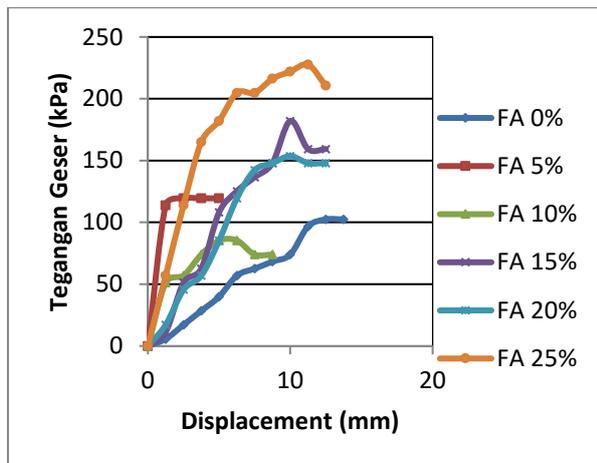
Penambahan kadar fly ash sangat berperan penting dalam perkembangan parameter kekuatan geser tanah dari campuran tanah dan fly ash yang berbeda. Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan antara tegangan geser dengan displacement horizontal untuk campuran lempung

dengan fly ash yang berbeda pada tegangan normal 12,5 kPa. Kekuatan geser pada campuran lempung dan fly ash meningkat dengan bertambahnya kadar fly

ash. Sementasi fly ash meningkatkan kekuatan geser setelah pencampuran dengan tanah.

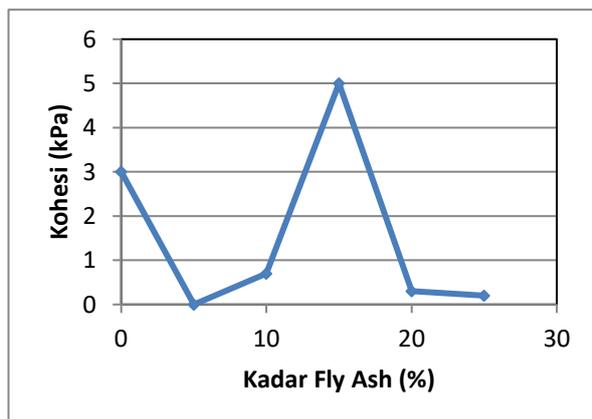
Tabel 6. Hasil Pengujian Geser Langsung terha

Pengujian Laboratorium				Kadar Fly Ash (%)					
				0	5	10	15	20	25
Direct Shear	Kohesi	C	kPa	3,0	0,0	0,7	5,0	0,3	0,2
	Sudut geser dalam tanah	$\phi$	$^{\circ}$	2,41	15,85	7,29	1,60	16,59	25,78



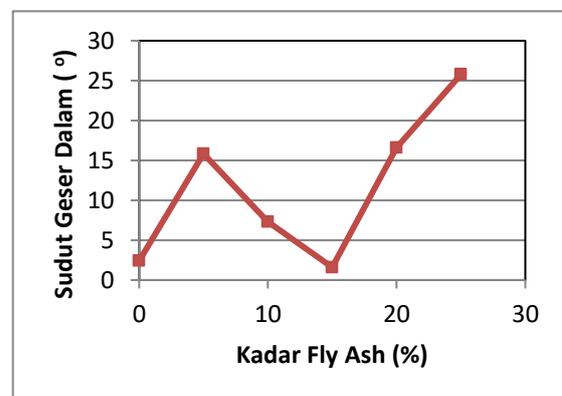
Gambar 2. Grafik tegangan geser-displacement horizontal pada variasi fly ash dengan tegangan normal 12,5 kPa

tanah asli sebesar 3,0 kPa dan terjadi kenaikan pada fly ash 15% sebesar 5,0 kPa. Peningkatan kohesi dari tanah akibat adanya peningkatan kadar fly ash dalam campuran yang mengalami pengikatan pada proses pengerasan. Semakin banyak fly ash maka semakin banyak air yang dibutuhkan, sehingga ketika airnya tetap maka kekuatannya juga berkurang. Semakin banyak prosentase fly ash perilaku tanah getas terlihat dari peningkatan kohesi yang tiba-tiba besar, kemudian runtuh.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara % Fly ash versus Kohesi

Dari Gambar 3. diatas terlihat bahwa semakin besar penambahan fly ash semakin besar pula kohesinya hingga nilai terbesar pada fly ash 15%, setelah itu terjadi penurunan hingga 25%. Kohesi



Gambar 4. Grafik Hubungan antara % Fly ash versus Sudut Geser Dalam Tanah

Dari Gambar 3. dan Gambar 4. terlihat stabilisasi tanah sangat lunak dengan fly ash 15% dapat meningkatkan kohesi tanahnya dari tanah aslinya 3,0 kPa menjadi 5,0 kPa, sedangkan sudut geser dalam tanah menurun dari kondisi tanah asli 2,41 $^{\circ}$  menjadi 1,6 $^{\circ}$ , hal ini sejalan dengan pendapat Prabandiyani (2008) dalam penelitiannya tentang perilaku

stabilisasi tanah *subgrade* dengan 2% semen + 4% *fly ash* dengan *Cyclic Loading*. Hasilnya adalah stabilisasi tanah *subgrade* dengan 2% semen + 4% *fly ash* dapat meningkatkan kohesi tanah dari tanah aslinya 10,5 kPa menjadi 48,5 kPa, sedangkan sudut geser dalam tanah menurun dari kondisi tanah asli 37,48° menjadi 36,8°.

#### KESIMPULAN

Penelitian pada uji geser langsung dengan penambahan *fly ash* dari PLTU Lati Berau 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% pada tanah lempung sangat lunak yang diambil dari Bendungan Lempake Samarinda, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut AASHTO dan konsistensi tanah, tanah asli merupakan tanah lempung dengan plastisitas sedang ( $PI = 14\% < 17\%$ ) dan kohesi = 3,0 kPa dan sudut geser dalam tanah = 2,41°.
2. Pada pengujian geser langsung hasil stabilisasi tanah sangat lunak dengan *fly ash* 15% dapat meningkatkan kohesi tanahnya dari tanah aslinya 3,0 kPa menjadi 5,0 kPa, sedangkan sudut geser dalam tanah menurun dari kondisi tanah asli 2,41° menjadi 1,6°.

#### DAFTAR PUSTAKA

Coal Mining Company, PT Berau Coal, Indonesian Coal Book 2010 – 2011, page 145 - 148

Das, B.M, 2008, Advanced Soil Mechanics, Third Edition, Taylor and Francis Group, London and NewYork

Hardiyatmo, H.C, 2010, Mekanika Tanah 1, Edisi kelima, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Parisara Envis Newsletter, 2007, Utility Bonanza from Dust, State Environment Related Issues Department of Forest and Environment Goverment of Karnataka Vol. 2 No. 6, page 1- 8

Prabandiyani, S, 2008, Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun keperluan Teknik Sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang

Sulistyowati, T, 2006, Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Fly Ash terhadap Nilai Daya Dukung CBR, Jurnal T. Sipil Volume 2 Nomor 1, hal. 77-83