

STUDI PENGARUH CAMPURAN ABU TERBANG (FLY ASH) SISA PEMBAKARAN BATUBARA TERHADAP SUDUT GESER DALAM TANAH NONPLASTIS

Marsedes Purba

ABSTRAK Tanah merupakan tempat berdirinya suatu konstruksi bangunan. Agar bangunan yang berdiri di atasnya dapat kokoh dan stabil, tanah harus mempunyai karakter teknik yang baik. Oleh karenanya, sebelum konstruksi dibangun, terlebih dahulu diselidiki sifat dan karakter teknik tanah, agar dapat ditentukan perencanaan pondasi dan struktur yang sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh campuran *fly ash* sisa pembakaran batu bara terhadap sudut geser dalam (*internal friction angle*) tanah non plastis. Material yang digunakan adalah *fly ash type C* dan tanah non plastis hingga tanah dengan plastisitas sangat rendah yang berasal dari Binjai. Pada penelitian ini dibuat 9 variasi campuran tanah: *fly ash* dengan komposisi: 76% : 24%; 79% : 21% ; 82% : 18%; 95% : 15%; 88% : 12%; 91% : 9%; 94% : 6%; 97% : 3%; dan tanah 100%. Penambahan kadar abu terbang berdasarkan persentase campuran yang dikalikan dengan berat kering sampel tanah. Sebelum uji geser langsung dilaksanakan, beberapa uji pendahuluan terhadap tanah asli seperti *sieve analysis test*, *specific gravity test* dan *Atterberg Limits Test* dilakukan, dan diperoleh hasil bahwa $G_s = 2,64$ dan tanah adalah non plastis. Melalui pengujian ini diteliti sejauh mana sifat *cementing* yang dimiliki abu terbang berpengaruh terhadap nilai sudut geser tanah. Dari hasil uji laboratorium dengan uji geser langsung diperoleh bahwa penambahan abu terbang hingga 6 % memberikan nilai sudut geser maksimal, dimana nilai $\phi = 64.778^\circ$ dan nilai $C = 0,156$, sementara pengujian pada tanah asli diperoleh nilai $\phi = 61.085^\circ$ dan nilai $C = 0,0087$. Penambahan *fly ash* dengan kadar di atas enam persen menimbulkan penurunan pada nilai sudut geser maupun pada nilai C .

KATA KUNCI Tanah, *fly ash*, plastisitas, sudut geser dalam

PENDAHULUAN Tanah merupakan landasan dari struktur bangunan. Kestabilan tanah sangat berpengaruh terhadap kemampuan tanah untuk menopang konstruksi yang ada di atasnya. Sehubungan dengan hal dimaksud, sebelum melakukan perencanaan pondasi suatu konstruksi bangunan, seperti gedung, tembok, lapisan perkerasan jalan raya, jalan kereta api, landasan pacu pelabuhan udara atau terminal, dan bangunan tanah seperti tanggul maupun perbaikan lereng, perlu dilaksanakan penelitian tanah, baik di lapangan maupun di laboratorium, agar dapat ditentukan

Marsedes adalah dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan

model dan dimensi yang sesuai dengan keperluan konstruksi di atasnya. Parameter teknis tanah, seperti gradasi butir, kepadatan atau *mass/weight density*, sudut geser dalam, plastisitas tanah merupakan karakter teknis yang berpengaruh langsung terhadap kemampuan dukung dari suatu lapisan tanah. Besar sudut geser dalam dan plastisitas tanah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kestabilan konstruksi tanah, terutama untuk menerima beban luar, seperti beban tekan dan gaya tarik yang kemungkinan menimbulkan keruntuhan pada tanah.

Tanah dengan gradasi butir yang heterogen memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibanding dengan tanah dengan gradasi butir yang homogen. Namun, bila kerapatan tidak diikuti dengan daya lekat antar butir (kohesivitas tanah), meskipun tanah memiliki kerapatan atau kepadatan yang tinggi, untuk kondisi tidak terkekang (*unconfined*), pada saat mengalami beban tekan atau tarik eksternal, tanah akan dengan mudah runtuh. Tetapi dengan daya lekat lebih tinggi (biasa terjadi pada tanah dengan plastisitas medium hingga tinggi), meskipun terbeban dengan gaya tekan maupun tarik, meskipun dalam kondisi tidak terkekang, tanah mampu bertahan dan tidak runtuh. Hal ini dapat dilihat pada bangunan tanggul atau bendung dengan tanah (*earth dam construction*).

Latar Belakang

Pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi tanah, seperti pada lapisan perkerasan jalan, pembangunan tanggul maupun bendung, pengadaan material tanah sering menjadi masalah akibat keterbatasan sumber tanah yang memenuhi kriteria teknis untuk proyek. Sering terjadi kondisi dimana material tanah di sekitar proyek cukup banyak, tetapi tidak dapat digunakan sebab secara teknis tanah tersebut tidak sesuai dengan kebutuhan proyek. Untuk keperluan konstruksi dimaksud dibutuhkan tanah plastis, tetapi yang tersedia tanah nonplastis dan tanah dengan plastisitas sangat rendah. Konsekuensinya, material tanah timbun didatangkan dari tempat lain, dan dibutuhkan biaya yang lebih besar untuk pengadaan material tanah, dan juga waktu yang relatif lebih lama sebagai akibat dari proses transportasi material.

Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi, berbagai usaha telah dilakukan di lapangan. Beberapa penelitian dengan penambahan semen ataupun lempung pada tanah nonplastis untuk meningkatkan kestabilan tanah telah dilakukan di beberapa tempat (Hakam, Yuliet and Donal, 2010). Pada kesempatan lain, penggunaan campuran semen dan lempung secara bersamaan dengan kadar tertentu juga telah dilaksanakan. Dari hasil kedua tipe pengujian tersebut, ditemukan terjadi peningkatan daya dukung tanah dan juga sudut geser dalam tanah yang menimbulkan terjadinya peningkatan kestabilan tanah. Dengan maksud yang sama, pada kesempatan ini dilaksanakan penelitian tentang penambahan abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari sisa pembakaran batubara terhadap tanah nonplastis. *Fly ash* mempunyai ukuran butir yang sangat kecil dan juga kandungan *cementing character* yang tinggi sehingga dapat meningkatkan plastisitas dan sudut

geser dalam tanah yang memungkinkan tercapainya konstruksi tanah lebih stabil.

Tujuan dan Manfaat Penelitian

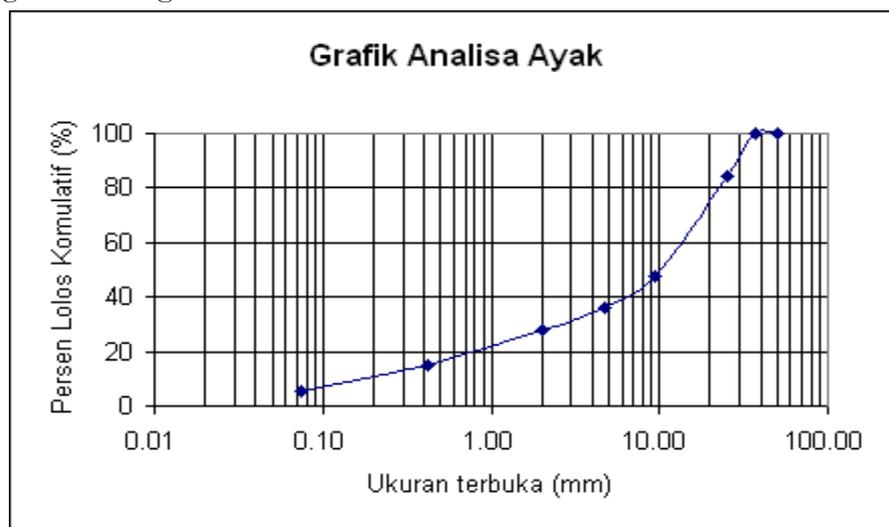
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sifat *cementing* yang dimiliki abu terbang berpengaruh terhadap nilai sudut geser dalam tanah, dan berapa kadar penambahan abu terbang yang menghasilkan nilai sudut geser dalam yang maksimal.

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menentukan kadar abu terbang yang diperlukan untuk tanah nonplastis pada pekerjaan timbunan, dan juga pada pekerjaan peningkatan stabilitas lereng, terutama pada daerah yang kondisi tanahnya nonplastis atau plastisitas rendah. Dengan penambahan abu terbang sisa pembakaran batubara pada tanah nonplastis, stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan lebih efektif, baik dari sisi material, biaya dan waktu.

TINJAUAN PUSTAKA

Kepadatan dan daya rekat tanah berpengaruh terhadap kemampuan daya dukung tanah. Sehubungan dengan fungsinya, lapisan tanah harus mampu menerima beban diam dan dinamis. Untuk itu, pada saat perencanaan konstruksi tanah, baik untuk pondasi maupun konstruksi tanah, kemampuan dukung tanah harus diperhitungkan terhadap semua gaya yang terjadi; vertikal dan horizontal, tekan dan tarik. Untuk terwujudnya tujuan dimaksud, semua aspek teknis yang berkenaan dengan stabilitas tanah harus dievaluasi dan dianalisis dengan cermat, agar dapat dihasilkan konstruksi pondasi maupun konstruksi tanah yang kokoh dan stabil.

Beberapa aspek teknis yang perlu diperhatikan di dalam pemilihan material tanah untuk keperluan konstruksi adalah: gradasi butir, *specific gravity*, kadar air, kadar organik, kekerasan butir agregat, plastisitas, kohesivitas dan sudut geser dalam. Gradasi butir berpengaruh terhadap pencapaian kepadatan dan kekuatan saling mengisi dan mengunci (*interlock*) dari lapisan tanah. Untuk mendapatkan kepadatan yang tinggi, tanah yang digunakan harus mempunyai gradasi "*well graded*".



Gambar 1 Grafik analisa ayak (gradasi butir)

Perbaikan gradasi butir tanah dapat dilakukan dengan penambahan dan pencampuran, semen, lempung, maupun *fly ash* ke dalam tanah. Selain untuk perbaikan gradasi butir, penambahan *fly ash* juga memungkinkan peningkatan karakter teknik tanah, seperti; peningkatan nilai resistivitas, peningkatan kemampuan geser, peningkatan kepadatan (memperkecil pori), memperkecil nilai permeabilitas, dan lain lain. Proses stabilisasi tanah dapat ditingkatkan karena kandungan *lime-kiln dust (LKD)* and *cement-kiln dust (CKD)* yang terdapat pada *fly ash*. (Wikipedia, 2010). Hal ini dapat dilihat dari komposisi elemen dasar *fly ash*. Komposisi kimia dan klasifikasi *fly ash* (http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash)

Table 1 Chemical composition and classification

Component	Bituminous	Subbituminous	Lignite
SiO ₂ (%)	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃ (%)	5-35	20-30	20-25
Fe ₂ O ₃ (%)	10-40	4-10	4-15
CaO (%)	1-12	5-30	15-40
LOI (%)	0-15	0-3	0-5

Secara umum, abu terbang yang diperoleh dari pembakaran batubara terdiri dari dua jenis, abu terbang *class F* dan *class C* (http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash), diunduh pada 25th May 2010 pada pukul 13:30 WIB.

Abu Terbang *Class F*

Pembakaran *bituminous* dan *anthracite* yang lebih keras secara tipikal akan menghasilkan abu terbang (*fly ash*) *class F*. Abu terbang ini memiliki sifat *pozzolanic* di alam, dan mengandung *lime (CaO)* kurang dari 10 %. Dengan memiliki sifat *pozzolanic*, karakter gelas silika dan alumina dari abu terbang *class F* memerlukan sifat perekat seperti *Portland cement*, *quicklime*, atau *hydrated lime*, dan keberadaan air menimbulkan terjadi reaksi yang menghasilkan senyawa semen. *geopolymer* (http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash), diunduh pada 25th May 2010 pada pukul 13:30 WIB.

Abu Terbang *Class C*

Abu terbang yang diproduksi dari pembakaran batubara *lignite* atau *subbituminous* yang lebih muda, selain memiliki sifat *pozzolanic*, juga memiliki sifat mengikat sendiri (*self-cementing properties*). Pada saat terkena air, abu terbang *class C* akan mengeras dan semakin kuat seiring dengan bertambahnya waktu. Pada umumnya, abu terbang *class C* memiliki kandungan *lime (CaO)* lebih dari 20%. Tidak seperti *class F*, abu terbang *self-cementing class C* tidak membutuhkan aktivator. Abu terbang *class C* mempunyai kandungan *alkali* dan *sulfate (SO₄)* lebih tinggi (http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash), diunduh pada 25th May 2010 pada pukul 13:30 WIB.

Kegunaan abu terbang tipe C, tidak terbatas hanya untuk *filling material* pada lapisan perkerasan jalan saja. Tapi dapat juga digunakan untuk material konstruksi teknik sipil lainnya. Seperti halnya yang terjadi di Amerika Serikat, ada satu perusahaan di Amerika Serikat mengumumkan bahwa batu bata dari abu terbang mempunyai kandungan 50% abu terbang *class C*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa batu bata dengan kandungan abu terbang *class C* memenuhi atau melebihi standar kualitas yang tertera di ASTM 216 (dibandingkan dengan batu bata yang terbuat dari tanah liat konvensional). Kelebihan lain dari batu bata ini adalah; batu bata ini memenuhi batas penyusutan yang diizinkan untuk batu bata beton yang tertera pada *ASTM C 55, Standard Specification for Concrete Building Brick*. Proses produksi dengan metode menggunakan abu terbang akan mengurangi energi unifikasi pada konstruksi pekerjaan beton hingga 90 %.

Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser suatu tanah tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir tanah. Besarnya nilai kohesivitas tanah akan berpengaruh terhadap kelekatan dari ikatan antar butir yang ada pada tanah. Nilai kekuatan geser tanah tergantung dari jenis dan kondisi tanah. Keadaan tanah dan besarnya nilai kohesivitas yang dimiliki tanah akan berpengaruh terhadap besarnya sudut geser dalam tanah (ϕ). Nilai ini digunakan untuk menghitung daya dukung tanah (*bearing capacity*), tekanan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng. Peningkatan sudut geser dalam tanah akan beakibat kepada peningkatan daya dukung tanah, yang secara bersamaan juga meningkatkan modulus resilien dari tanah. Peningkatan sudut geser dalam tanah juga akan memberikan manfaat terhadap stabilisasi lereng. Untuk tanah nonkohesif, seperti tanah pasir, sudut kemiringan yang aman berada pada besaran $15^\circ - 20^\circ$ (Tomlinson, 1975, p.563). Dengan peningkatan nilai sudut geser dalam, sudut lereng dapat ditingkatkan hingga melebihi 30° . Hal ini akan mempermudah pekerjaan konstruksi tanah, seperti tanggul di lapangan.

Keruntuhan geser (*shear failure*) disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja diantara butiran tanah yang menyebabkan terjadinya gerak relatif antara butir tanah. Bila pada permukaan tanah bekerja gaya geser dan gaya normal, nilai tegangan geser akan membesar (mencapai maksimum) akibat deformasi sudah mencapai nilai batas.

Bila nilai batas yang diperoleh dari tegangan yang berbeda-beda digambarkan pada grafik, hasil yang diperoleh berupa garis lurus yang dinyatakan dengan persamaan Coulomb Hvorslev (Petergo, 2011, *DIRECT SHEAR & SUDUT GESER DALAM/PERCOBAAN GESER LANGSUNG (UNCONSOLIDATED UNDRAIN)* htm.

dimana: C' = kohesi tanah tekanan efektif.

σ = Tegangan normal efektif.

u = Tegangan air pori.

τ = tegangan total pada bidang kritis.

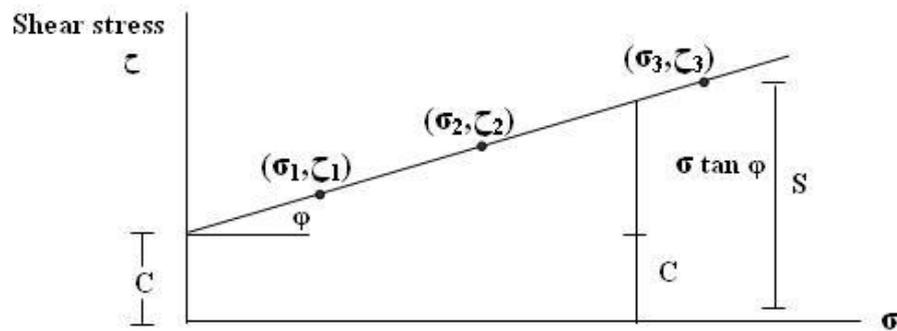


Fig (3) – B : The relation between normal and shear stress

Gambar 2 Hubungan antara “normal and shear stress”

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah yaitu:

- Percobaan geser langsung (*Direct Shear Test*).
- Percobaan triaxial (*Triaxial Test*).
- Percobaan kekuatan geser tekanan bebas (*Unconfined*).

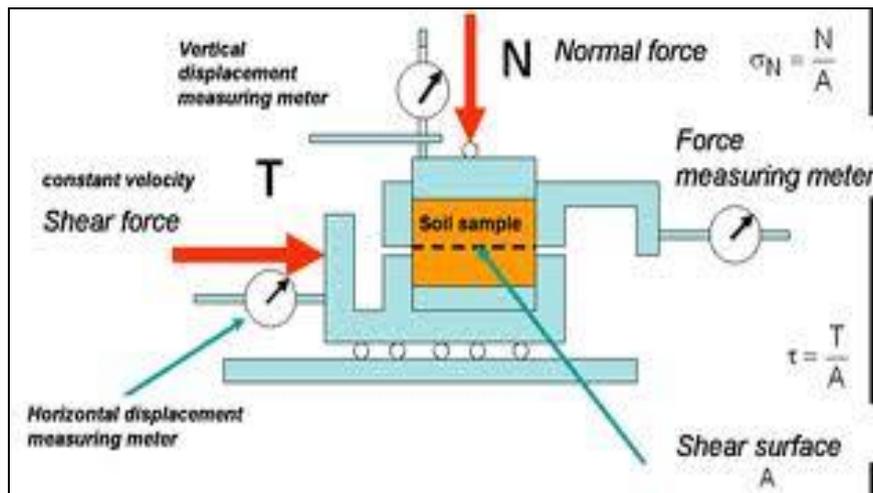
Dengan menerapkan pengujian tersebut dapat ditentukan nilai kohesi tanah (C) dan sudut geser dalam tanah (Φ).

Uji Geser Langsung

Maksud dari uji geser langsung adalah untuk memperoleh besarnya tahanan geser tanah pada besaran tegangan normal tertentu. Tujuannya untuk mendapatkan kuat geser tanah. Kekuatan geser tanah adalah kekuatan tanah untuk memikul beban bebab atau gaya yang dapat menyebabkan kelongsoran, gelincir, keruntuhan dan pergeseran tanah. Pengujian ini dilakukan pada tanah dengan keadaan *unconsolidated* dan *undrained*, kemudian digeser dengan gaya horizontal sampai sampel mencapai kekuatan puncaknya yang berarti terjadi kelongsoran (posted by Taufiq Rahman, on http://2.bp.blogspot.com/_5EFbH6cFePM/TUE1iOtKXFI/AAAAAAJA/kiJGHpzoeYU/s320/image008.jpg, retrieved on Mei 28th, 2014).

Untuk tanah dengan tingkat plastisitas menengah ke atas, pengujian sudut geser dalam tanah dilakukan dengan uji triaxial dan *unconfined test*. Sementara untuk tanah dengan tingkat plastisitas sangat rendah hingga nonplastis, penentuan sudut geser dalam dilakukan dengan uji geser langsung (*direct shear test*).

Hasil uji geser langsung berupa data tegangan geser dan normal yang dialami oleh tanah yang diplotkan dan membentuk kurva. Berdasarkan grafik yang dibentuk oleh tegangan geser dan normal, ditentukan besar sudut geser, Φ dan nilai C .

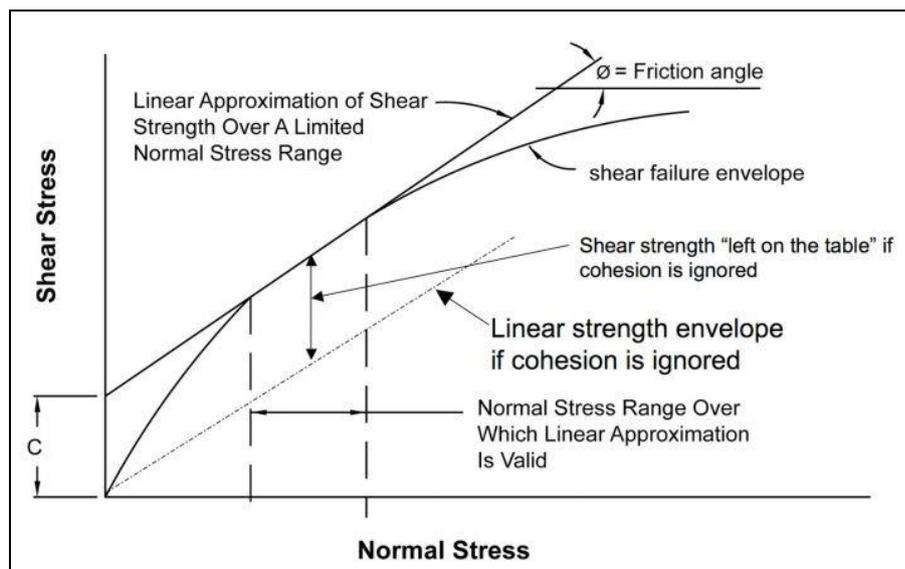


Anonymous,

https://www.google.co.id/?gws_rd=ssl#q=direct+shear+test

Retrieved on 12 Juni 2014, at 20:06

Gambar 3 Alat uji geser langsung



Gambar 4 Sudut geser dalam

METODE PENELITIAN Pengujian Sudut Geser Dalam

Tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah non plastis, maka pengujian sudut geser dalam dilaksanakan dengan metode uji geser langsung (*direct shear test*). Proses pengujian dilakukan dengan beberapa tahapan pendahuluan, untuk memperoleh data karakter teknis tanah yang berkenaan dengan pelaksanaan uji geser langsung.

Sampel tanah diambil dari *quarry* di Binjai, sementara abu terbang/*fly ash* type C bersumber dari sisa pembakaran batubara (pengadaan dengan membeli). Proses pengujian diawali dengan pengeringan tanah sampel secara alamiah, kemudian dilanjutkan dengan pemisahan butiran tanah dengan menggunakan

palu karet. Uji analisa butir dilaksanakan secara kering dengan analisis ayak (*machinery sieve analysis*). Data hasil uji diproses dengan menggunakan *spreadsheet* untuk mendapatkan gradasi butir tanah. Penentuan nilai Gs dilaksanakan dengan picnometer, sementara uji *Atterberg limits* dilaksanakan dengan alat Cassagrande. Melalui uji *Atterberg limits* diperoleh nilai *liquid limit* dan nilai *plastic limit* untuk mendapatkan nilai plastisitas tanah, dan *shrinkage limit test* dengan metode linear dan volumetric untuk mendapatkan nilai penyusutan tanah. Tujuan dari pengujian pendahuluan ini untuk melihat kondisi awal dan kelayakan sampel tanah apakah sesuai dengan kriteria dasar untuk pengujian *direct shear (non plastic – very low plastic)*. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah pasir berasal dari Binjai – Sumatera Utara. Setelah pengujian pendahuluan dilaksanakan, dan diperoleh hasil uji, kemudian dilakukan pembuatan benda uji dengan proses pencampuran tanah dan abu terbang (*fly ash*) sesuai dengan kadar yang telah ditentukan. Pencampuran dibuat dengan komposisi yang berbeda. Pada penelitian ini dibuat sembilan variasi komposisi, dimana setiap variasi komposisi dibuat tiga sampel uji.

Tabel 3 Komposisi Sampel Uji

Benda Uji No.	Komposisi campuran tanah dengan <i>fly</i>		Jumlah (unit)
	Tanah	<i>fly ash</i>	
1	100	0	3
2	97	3	3
3	94	6	3
4	91	9	3
5	88	12	3
6	85	15	3
7	82	18	3
8	79	21	3
9	76	24	3

Pengujian sudut geser dalam (*internal angle friction*) pada penelitian ini dilakukan dengan metode *direct shear test*. Hal ini disebabkan tanah yang diuji adalah tanah nonplastis, atau tanah dengan tingkat plastisitas yang sangat rendah.

Tempat Pelaksanaan Penelitian dan Peralatan

Penelitian ini dilaksanakan pada September 2014 hingga Nopember 2014, di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan yang beralamat di Jalan Almamater No. 1, Kampus USU, Padang Bulan, Medan Kode Pos 20155.

Peralatan untuk pelaksanaan uji geser langsung (*direct shear test*):

- Kotak geser (*shear device*)
- *Proving ring*
- Perlengkapan beban (*loading device*)

- Batu pori (*porous stone*)
- Dial pengukur regangan pergeseran benda uji (*displacement indicator*)
- Sample mold (*remolder box*)
- *Stopwacth*
- *Trimmer*
- *Oven*
- *Moisture can*
- Alat tulis
- Alat pengeluar sampel uji

Pada pelaksanaan uji geser langsung ini, data perlu dicatat/direkam adalah:

- Besar tegangan normal
- Besar tegangan geser
- Besar pergeseran

Pelaksanaan Uji Geser Langsung

Garis besar pelaksanaan pengujian geser langsung:

1. Sampel tanah diambil dari *quarry* di Binjai-Sumut, dan abu terbang sisa pembakaran batubara disediakan.
2. Pengujian analisa ayak, atterberg dan berat jenis spesifik (Gs) dilakukan terhadap sampel tanah.
3. Sampel tanah dikeringkan, kemudian dibuat campuran material tanah dan abu terbang dengan komposisi kira-kira sebagaimana direncanakan (Tabel 3).
4. Benda uji yang telah disiapkan sesuai dengan komposisi campuran yang direncanakan, ditambahkan air dengan kadar $20\% \pm 1\%$.
5. Benda uji di dalam cetakan (*remoulded*) dipadatkan dengan kepadatan standard.
6. Setelah benda uji siap untuk diuji, *stopwacth* disiapkan, kemudian beban pemberat (*normal stress*) pertama 4,25 kg, kemudian air diisikan ke kotak geser hingga muka air rata merendam sampel uji.
7. Shear stress diputar dengan kecepatan putar satu putaran perdua detik dan pembacaan dilaksanakan setiap 30 detik hingga mencapai nilai maksimum dan menurun (untuk keadaan menurun cukup dilakukan dua kali pembacaan).
8. Setelah pembacaan berakhir (telah terjadi pembacaan maksimum dan terjadi keruntuhan), sampel dikeluarkan, dan pengujian kedua dan ketiga dengan masing-masing pemberat 8,5 kg dan 12,75 kg, dilaksanakan.
9. Data dari setiap pengujian dicatat untuk kemudian diolah.

Pada penelitian ini, pengujian sudut geser dalam dilakukan tiga kali untuk setiap komposisi campuran benda uji.

Berdasarkan data tegangan geser dan normal yang terjadi, dibentuk kurva, lalu diperoleh besar sudut geser dalam, Φ ($^{\circ}$) dan nilai kohesif C (kg/cm^2). Contoh hasil data dari pengujian *direct shear* dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Contoh hasil pengujian uji geser

Project	Penelitian UPPM Polmed 2014	Tested by	Marsedes P, Ci. Eng, M.Sc
Sample	: Tanah pasir + 24 % fly ash	Assisted by	Salamuddinsyah, S.T.
Location	: Binjai, Sumatera Utara	Checked by	Marsedes P, Ci. Eng, M.Sc
Depth	: 1.00 m - 2.00 m	Date	: 08 Oktober 2014
Diameter	: 6.00 cm	Area	: 28.29 cm ²
Height	: 2.50 cm	Load Ring Calibration, LRC	: 0.178 kg/div

Direct Shear Test

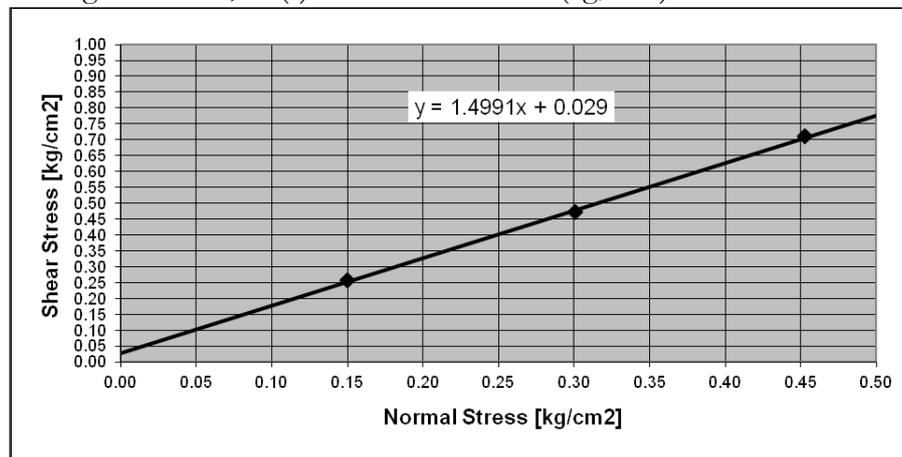
Sample		I	II	III	Note
Normal Force	[kg]	4.25	8.50	12.75	
Max. Shear Force	[kg]	7.30	13.35	20.11	Sample Failure
Normal Stress	[kg/cm ²]	0.15	0.30	0.45	
Shear Stress	[kg/cm ²]	0.26	0.47	0.71	

NB:- Nilai *Max. Shear Force* diperoleh dari pembacaan *shear* pada masing-masing pembebanan pada *Normal Force*, dikalikan dengan *Load Ring Calibration*.

- Nilai *Shear Stress* diperoleh dari *Max. Shear Force* dibagi dengan Area sampel

Berdasarkan data pengujian yang diperoleh seperti tertera pada tabel di atas, diplotkan kurva antara *normal stress* dengan *shear stress*, dan hasilnya tertera pada Gambar 5

Berdasarkan grafik yang diperoleh (Gambar 5), ditentukan besar nilai sudut geser dalam, Φ ($^{\circ}$) dan nilai kohesif C (kg/cm²).



Summary :

Cohesion of Soil $c = 0.029$ kg/cm²
 Internal Shear Angel of Soil $= 56.2941$ $^{\circ}$

Gambar 5 Contoh hasil pengujian *direct shear*

Setelah pengujian terhadap semua sampel uji dilaksanakan, data diolah dengan menggunakan *spreadsheet*, dan diperoleh kadar campuran *fly ash* dan tanah yang menghasilkan sudut geser yang maksimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Pendahuluan

Hasil pengujian pendahuluan terhadap tanah asli, seperti kadar air, analisis ayak, atterberg limit adalah sebagai berikut.

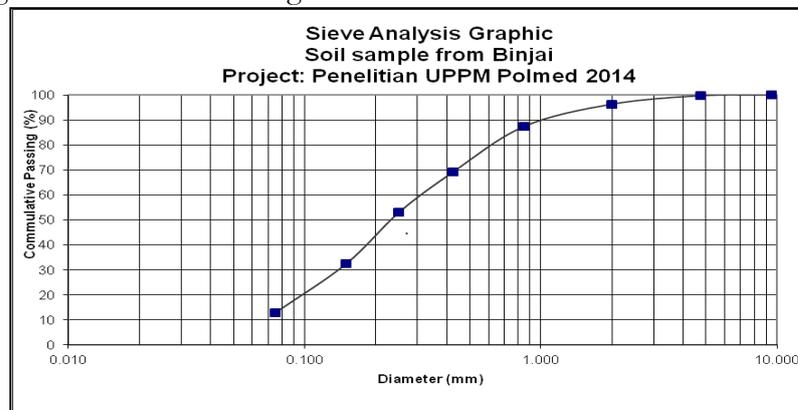
1. Kadar air lapangan
Sampel diambil dari lapangan, dibawa ke laboratorium dan diuji kadar airnya. Dari hasil uji, diperoleh kadar air lapangan sebesar 26,92 %.
2. Atterberg limit:
Dari hasil pengujian diperoleh sampel tanah adalah non plastis.
3. Berat jenis specific, G_s
Dari hasil pengujian laboratorium diperoleh G_s sampel tanah = 2,65

Tabel 5 Perhitungan specific gravity, G_s

Project	Penelitian UPPM Polmed 2014	Tested by	Marsedes P, B.Sc. Ci. Eng., M.Sc.
Sample	Tanah pasir	Assisted by	: Salamuddinsyah, S.T.
Location	Binjai, Sumatera Utara	Checked by	: Marsedes P, B.Sc. Ci. Eng., M.Sc
Depth	: 1.00 m - 2.00 m	Date	: 02 Oktober 2014
Specific Gravity, G_s			
		1	2
Depth	[m]		
Determination No			
Picnometer No		1217	1212
Weight of Picnometer	[gram]	44.15	45.62
Weight of Picnometer + Dry Soil	[gram]	75.83	69.19
Weight of Picnometer + Dry Soil + Water	[gram]	165.18	158.50
Weight of Picnometer + Water	[gram]	145.35	143.83
Temperature	[° C]	28.00	28.00
Specivic Gravity of Water at T, (G _t)	[gr/cm ³]	0.9963	0.9963
Specivic Gravity of Soil (G _s)	[gr/cm ³]	2.66	2.64
		2.65	

1. Analisis ayak

Berdasarkan hasil uji analisis ayak dengan metode kering, diperoleh gradasi butir tanah sebagai berikut:



Gambar 6 Grafik gradasi butir tanah

Hasil Uji Geser Langsung

Dari tiga uji untuk tiap komposisi, diambil nilai rata-rata yang diplotkan pada kurva geser langsung untuk mendapatkan sudut geser langsung dan nilai kohesi.

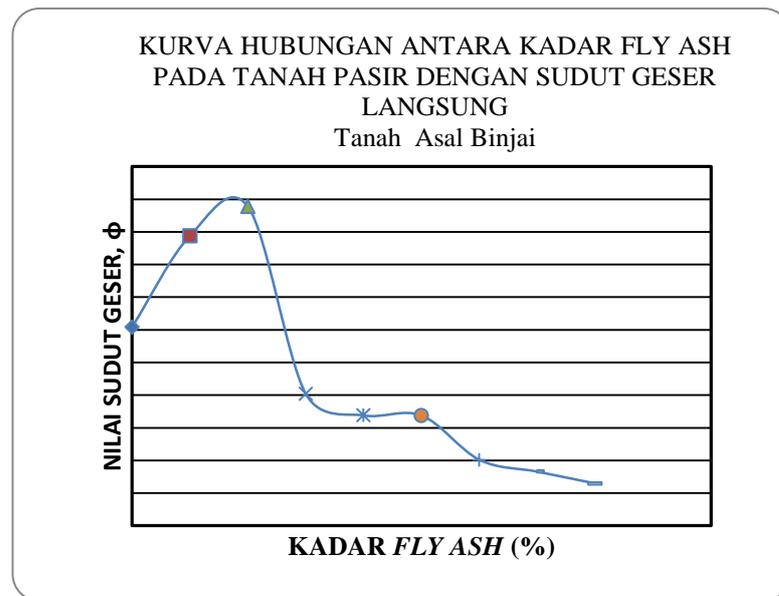
Tabel 6 Hasil pembacaan uji geser langsung

No	Komposisi Campuran (%)		TEST	Pembacaan <i>Shear</i> pada Beban		
	Tanah	Fly ash		4.25 kg	8.5 kg	12.75 kg
1	100	0	1	41	93	128
			2	40	96	129
			3	42	96	127
			Rata-rata	41	95	128
2	97	3	1	57	119	156
			2	58	118	153
			3	56	120	156
			Rata-rata	57	119	155
3	94	6	1	74	132	174
			2	74	131	176
			3	71	130	175
			Rata-rata	73	131	175
4	91	9	1	62	84	142
			2	60	86	139
			3	61	85	142
			Rata-rata	61	85	141
5	88	12	1	55	87	133
			2	56	89	134
			3	54	91	132
			Rata-rata	55	89	133
6	85	15	1	50	88	128
			2	49	86	126
			3	51	87	127
			Rata-rata	50	87	127
7	82	18	1	45	79	118
			2	44	76	120
			3	46	79	119
			Rata-rata	45	78	119
8	79	21	1	43	75	115
			2	41	75	113
			3	42	78	117
			Rata-rata	42	76	115
9	76	24	1	41	76	115
			2	40	75	110
			3	42	74	114
			Rata-rata	41	75	113

Rekapitulasi dari hasil uji yang yang dilaksanakan untuk setiap komposisi material diperoleh sudut geser seperti tertera pada Tabel 7 dan Gambar 7

Tabel 7 Nilai Sudut geser berdasarkan hasil pengujian laboratorium dengan metode uji geser langsung (*direct shear test*)

No.	Persentase penambahan fly ash terhadap material tanah pasir (persen)	Nilai Sudut geser dalam ϕ
1	0	63.64877
2	3	63.87720
3	6	64.77704
4	9	59.03827
5	12	58.37990
6	15	58.37675
7	18	57.01758
8	21	56.65929
9	24	56.29406

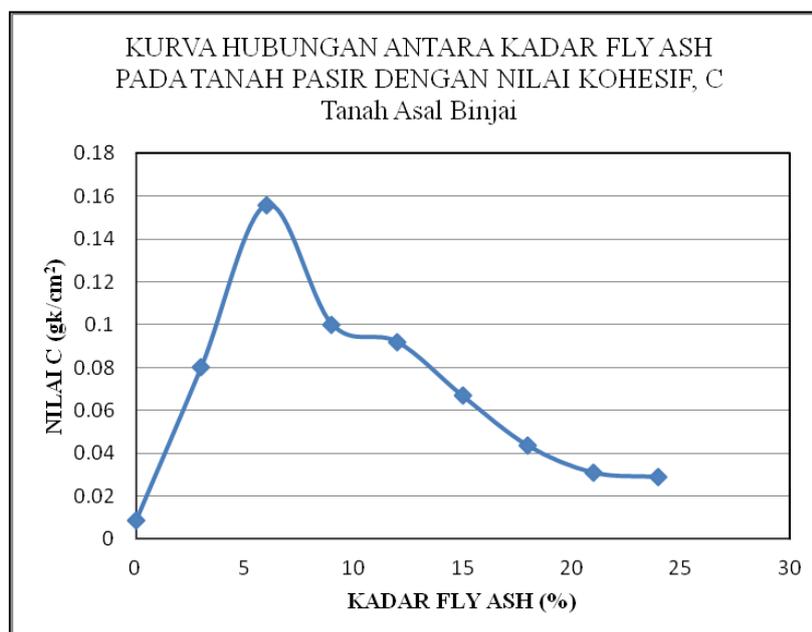


Gambar 7 Nilai Sudut geser langsung, ϕ

Bila dibandingkan dengan nilai sudut geser dalam tanah asli, berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa peningkatan nilai sudut geser terjadi pada campuran tanah dan abu terbang pada komposisi penambahan abu terbang 3 % hingga 7 %. Peningkatan tertinggi terjadi pada konsentrasi 6 %. Setelah konsentrasi 7 %, terjadi penurunan sudut geser dalam. Bila digunakan di lapangan, *fly ash* hanya akan efektif memberikan peningkatan nilai sudut geser dengan penambahan hingga kadar 6 % saja. Sementara dari kurva sudut geser dalam, diperoleh rekapitulasi nilai kohesif C untuk setiap komposisi campuran, seperti ditampilkan pada Tabel 8 dan Gambar 8.

Tabel 8 Nilai C berdasarkan hasil pengujian laboratorium dengan metode uji geser langsung (*direct shear test*)

No.	Persentase penambahan fly ash terhadap material tanah pasir (persen)	Nilai C (kg/cm ²)
1	0	0.0026
2	3	0.0803
3	6	0.1558
4	9	0.1002
5	12	0.0920
6	15	0.0669
7	18	0.0437
8	21	0.0311
9	24	0.0290



Gambar 8 Nilai Kohesif, C

Sebagaimana diharapkan pada awal penelitian, akan terjadi peningkatan nilai kohesif tanah sehubungan dengan penambahan abu terbang pada campuran tanah, melalui hasil penelitian yang diperoleh, penambahan abu terbang pada tanah memberikan peningkatan nilai kohesif, C. Peningkatan yang signifikan terjadi pada campuran dengan konsentrasi dari 3 % hingga hingga 12 %. Peningkatan tertinggi terjadi pada campuran pada nilai dengan konsentrasi abu terbang sebesar 6 %.

- SIMPULAN**
1. Penambahan abu terbang terhadap tanah nonplastis dengan konsentrasi 3 % hingga 7 % menghasilkan peningkatan nilai sudut geser dalam. Peningkatan tertinggi terjadi pada konsentrasi 6 % abu terbang (dari $\phi_{\text{tanah asli}} = 61,085^\circ$ menjadi $\phi_{\text{tanah + fly ash}} = 64,777^\circ$).
 2. Penambahan abu terbang pada tanah nonplastis menghasilkan peningkatan nilai kohesif, C. Peningkatan yang signifikan terjadi pada campuran dengan konsentrasi dari 3 % hingga hingga 12 %. Peningkatan tertinggi terjadi pada campuran dengan konsentrasi 6 % abu terbang, dimana terjadi peningkatan nilai kohesif, C sebesar $0,1471 \text{ kg/cm}^2$ (peningkatan dari 0.0087 kg/cm^2 menjadi $0,1558 \text{ kg/cm}^2$).

SARAN Meskipun terjadi peningkatan pada nilai sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesif tanah (C), masih perlu dilaksanakan pengujian pembebanan terhadap stabilitas tanah pada saat tanah tidak terkekang, baik pada saat kering maupun saat terendam.

- RUJUKAN**
- AASHTO. 1998. *Standar Specification for transportation materials and Methods of Sampling and Testing*. 19th edition, Part II, Washington D.C.
- Anonymous, 12 Juni 2014
https://www.google.co.id/?gws_rd=ssl#q=direct+shear+test
- Das, B.M. 1985. *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS-Publishing Company, Boston, Massachusetts.
- Hakam, A., Yuliet, R. & Rahmat Donal. 2010. Studi Pengaruh Penambahan Tanah Lempung Pada Tanah Pasir Pantai Terhadap Kekuatan Geser Tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil, Fakultas Teknik Universitas Andalas*. ISSN: 1858-2133.
- Head, K. H. C.Eng. FICE, FGS. 1982. *Manual Soil Laboratory* Vol. 2, London: Pentec Press
- Huang Y. H. 2004. *Pavement Analysis and Design*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.
- Noname. 2010. *Fly Ash*, Wikipedia – the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash, retrieved on May 25th 2010 at 13:25
- Petergo. 2011. Direct Shear&Sudut Geser Dalam/ Percobaan Geser Langsung (*Unconsolidated Undrain*) htm, retrieved on 28 Mei 2014 at 07:04 PM
- Sukirman, S. 1993. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung.

- Taufiq Rahman. 2011. *Direct Shear Test*,
http://2.bp.blogspot.com/_5EFbH6cFePM/TUE1iOtKXFI/AAAAAAAAAJA/kjGHPzoeYU/s320/image008.jpg,
retrieved on May 28th 2014, at 16.00
- Tomlinson, M.J. 1975. *Foundation Design and Construction* New York: Pitman Publishing..