

Jurnal TEKNIK SIPIL

Sugeng P. Budio,
M Idris Bakhtiar

Damar Budi Laksono,
Haryanto Yoso Wigroho

Junaedi Utomo

Yohannes Lulie

Susy F. Rostiyanti, dkk

Theresia Herni Setiawan,
Tomi Ariadi

Mohamad Hafidz,
Felix Hidayat,
Zulkifli Bachtiar Sitompul

Sih Andayani,
Bambang E. Yuwono,
Soekrasno

Pengaruh Letak Beban
Terhadap Gaya Prategang Tipe
Segitiga Pada Model Jembatan Rangka Baja

Studi Kekuatan Kolom Profil C
Dengan Cor Beton Pengisi Ban
Perkuatan *Transversal*

*Drift Control Deep Beam-to-deep Column
Special Moment Frames*
Dengan Sambutan RBS

Sifat-sifat Fisik Abu Terbang Merapi

Kerangka Pengukuran Kinerja Sistem
Penyelenggaraan Jalan Tol Melalui
Kerjasama Pemerintah Swasta Di Indonesia

Indikator Keberhasilan Proyek
Pembangunan Bangunan Gedung
Yang Dipengaruhi Faktor Internal
Site Manager

Studi Sistem Pencegahan
Dan Penanggulangan Kebakaran
Pada Pabrik Pembuatan Pesawat Terbang

Indikator Tingkat Layanan Drainase
Perkotaan

Jurnal **TEKNIK SIPIL**

Volume 11 Nomor 2, April 2012

ISSN 1411-660X

Jurnal Teknik Sipil adalah wadah informasi bidang Teknik Sipil berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait. Terbit pertama kali Oktober tahun 2000 dengan frekuensi terbit dua kali setahun pada bulan Oktober, April. (ISSN 1411-660X)

Pemimpin Redaksi

Agatha Padma L

Anggota Redaksi

Angelina Eva Lianasari

Pranawa Widagdo

Ferianto Raharjo

Mitra Bebestari

AM. Ade Lisantono

Imam Basuki

Koesmargono

Peter F. Kaming

Yoyong Arfiadi

Tata Usaha

Ag. Boedi Soedrajad, A. Md

Alamat Redaksi dan Tata Usaha:

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari No.44 Yogyakarta 55281

Telp. (0274) 487711 (hunting) Fax (0274) 487748

Email : jurnalsipil@staff.uajy.ac.id

Redaksi menerima sumbangan artikel terpilih di bidang Teknik Sipil pada Jurnal teknik Sipil.
Naskah yang dibuat merupakan pandangan penulis dan tidak mewakili Redaksi

Jurnal Teknik Sipil diterbitkan oleh Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Pelindung: Dekan Fakultas Teknik-UAJY

Penanggung Jawab: Ketua Program Studi Teknik Sipil Atma Jaya Yogyakarta

Jurnal TEKNIK SIPIL

Volume 11 Nomor 2, April 2012

ISSN 1411-660X

Jurnal Teknik Sipil adalah wadah informasi bidang Teknik Sipil berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait.

DAFTAR ISI

PENGARUH LETAK BEBAN TERHADAP GAYA PRATEGANG TIPE SEGITIGA PADA MODEL JEMBATAN RANGKA BAJA <i>Sugeng P. Budio, M Idris Bakhtiar</i>	85 - 94
STUDI KEKUATAN KOLOM PROFIL C DENGAN COR BETON PENGISI BAN PERKUATAN <i>TRANSVERSAL</i> <i>Damar Budi Laksono, Haryanto Yoso Wigroho</i>	95 - 102
<i>DRIFT CONTROL DEEP BEAM-TO-DEEP COLUMN SPECIAL MOMENT FRAMES</i> DENGAN SAMBUTAN RBS <i>Junaedi Utomo</i>	103 - 110
SIFAT-SIFAT FISIK ABU TERBANG MERAPI <i>Yohannes Lulie</i>	111 - 116
KERANGKA PENGUKURAN KINERJA SISTEM PENYELENGGARAAN JALAN TOL MELALUI KERJASAMA PEMERINTAH SWASTA DI INDONESIA <i>Susy F. Rostiyanti, dkk</i>	117 - 127
INDIKATOR KEBERHASILAN PROYEK PEMBANGUNAN BANGUNAN GEDUNG YANG DIPENGARUHI FAKTOR INTERNAL <i>SITE MANAGER</i> <i>Theresia Herni Setiawan, Tomi Ariadi</i>	128 - 134
STUDI SISTEM PENCEGAHAN DAN PENANGGULANGAN KEBAKARAN PADA PABRIK PEMBUATAN PESAWAT TERBANG <i>Mohamad Hafidz, Felix Hidayat, Zulkifli Bachtiar Sitompul</i>	135 - 147
INDIKATOR TINGKAT LAYANAN DRAINASE PERKOTAAN <i>Sih Andayani, Bambang E. Yuwono, Soekrasno</i>	148 - 157

SIFAT-SIFAT FISIK ABU TERBANG MERAPI

Yohannes Lulie

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jalan Babarsari No. 44 Bandung

email : yolulie@yahoo.co.id

Abstract: Eruption of Mount Merapi materials contain a variety of mechanical and physical elements. Size fractions of materials are also different. One such fraction is fly ash material. The Location of fly ash material was taken from Kentungan Hamlet, Condong Catur, Depok, Sleman, DIY; is 21.4 kms from Mount Merapi. The results of this research in field conditions, the deposit of fly ash has a water content of 21.320%, specific gravity 2.652. Wet unit weight of 1.663 gr/cm³ and dry unit weight of 1.444 gr/cm³, including the uniform loose sand group. Fly ash grains are retained on No.200 sieve are 38.7% sand fraction, fraction passing the No.200 sieve are 61.3% silt fraction. Atterberg limits inform the liquid limit 24.74%, plastic limit 20.40%, shrinkage limit 28.69% and plasticity index 4.34% including the slightly plastic, shrinkage ratio SR 1.5 includes good soil type. According to AASHTO classification system of highway subgrade materials that fly ash materials in the group classification A-4 and silty soils. Based on the relationship chart plasticity index and liquid limit of fly ash including inorganic silts of low compressibility. The results of direct shear tests and unconfined compression test test fly ash inform the sort of combination of silts and loose sand. Effective friction angle ϕ 25.9°~35°. From the results of compaction testing optimum moisture content OMC 21.46% and maximum dry density MDD 1.517 gr/cm³. An important thing, any further study of the utilization of fly ash associated with the physical properties need to be investigated again because of the physical properties will change depending on the distance distribution of the ash of Mount Merapi.

Keywords: *fly ash properties, sand, silt.*

Abstrak: Material letusan Gunung Merapi mengandung bermacam unsur mekanis maupun fisik. Fraksi ukuran material yang dikeluarkan juga berbeda. Salah satu fraksinya seperti abu terbang. Lokasi material abu terbang diambil dari Dusun Kentungan, Condong Catur, Depok, Sleman, DIY; berjarak 21,4 km dari Gunung Merapi. Hasil penelitian pada kondisi lapangan endapan abu terbang mempunyai kadar air sebesar 21,320%, berat jenis 2,652. Berat unit basah 1,663 gr/cm³ dan berat unit kering 1,444 gr/cm³, termasuk kelompok *loose uniform sand*. Butiran abu terbang tertahan saringan No.200 fraksi *sand* 38,7%. Lolos saringan No.200 fraksi *silt* 61,3%. *Atterberg limit* menginformasikan nilai *liquid limit* 24,74%; *plastic limit* 20,40%; *shrinkage limit* 28,69% dan *plasticity index* 4,34% termasuk *slightly plastic*, *shrinkage ratio* SR 1,5 termasuk *good soil type*. Sesuai *AASHTO classification system of Highway Subgrade materials* abu terbang tersebut dalam *group classification* A-4 dan *silty soils*. Berdasarkan *chart* hubungan *plasticity index* dan *liquid limit* abu terbang termasuk *Inorganic silts of low compressibility*. Hasil pengujian *direct shear test* dan *unconfined compression test* menginformasikan abu terbang termasuk jenis gabungan *silts and loose sand*. *Effective friction angle* ϕ 25,9°~35°. Dari hasil pengujian pemadatan *optimum moisture content* OMC 21,46% dan *maximum dry density* MDD 1,517 gr/cm³. Satu hal yang penting, setiap studi lanjutan pemanfaatan abu terbang yang terkait dengan sifat-sifat fisik perlu diselidiki lagi karena sifat-sifat fisik akan berubah tergantung sebaran jarak abu Gunung Merapi.

Kata kunci: *fly ash properties, sand, silt.*

PENDAHULUAN

Gunung Merapi merupakan sebuah gunung api yang aktif yang berlokasi di perbatasan antara Daerah Istimewah Yogyakarta (DIY) dengan Jawa Tengah, Indonesia. Lokasinya 28 km sebelah utara dari titik nol (*ground zero*) Kota Yogyakarta. Gunung berapi ini sangat aktif di Indonesia dan meletus secara teratur sejak tahun 1548. Ketinggian Gunung ini 1700 m dari permukaan air laut. Ribuan penduduk tinggal di desa-desa berdekatan sekitar Gunung Merapi, (Wikipedia, 2010).

Letusan eksplosif Gunung Merapi yang terjadi Senin, Tanggal 24 Nov 2010 pukul 10.03, meruntuhkan material di puncak gunung sekitar 2 juta meter kubik (m^3). Tinggi letusan mencapai 1,5 kilometer (km) dan membawa awan panas itu wedhus gembel 4 km ke arah selatan atau Kali Gendol. Gunung Merapi meletus mengeluarkan material sekitar 2 (dua) juta meter kubik yang dimuntahkan.

Material letusan Gunung Merapi mengandung bermacam unsur mekanis maupun fisik. Fraksi ukuran material yang dikeluarkan juga berbeda. Material ini baik untuk bahan bangunan. Salah satu fraksinya seperti abu terbang. Abu terbang ini dapat digunakan untuk stabilisasi tanah. Menurut Welsh (1987), lapisan tanah yang distabilisasi dengan abu terbang akan meningkatkan daya dukung tanah yang bermanfaat dalam bidang *geotechnical engineering*.

Akar permasalahan yang muncul dari abu terbang yang berasal dari Gunung Merapi ini sebelum digunakan dalam bidang *geotechnical engineering* perlu dilakukan penelitian terkait sifat-sifat fisik dari abu terbang (*fly ash properties*) yang ada. Untuk mencari sifat-sifat fisik suatu material di laboratorium mengikuti prosedur rekomendasi dari Lambe (1969), Bowles (1970), FHWA (2002). Dalam pemanfaatannya sebagai bahan bangunan khususnya bahan geoteknikal ketekspilan (*geotechnical engineering*). Perlu dipeta sifat-sifat fisik abu terbang Gunung Merapi tersebut. Apakah abu terbang Gunung Merapi dapat mempunyai nilai tambah sebagai bahan rekayasa geoteknik.

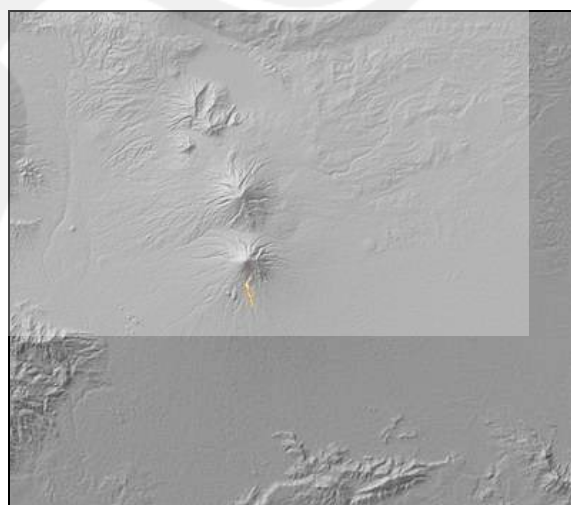
Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah ingin memetakan sifat-sifat fisik abu terbang Gunung Merapi. Sifat-sifat fisik abu terbang (*fly ash properties*) mencakup antara lain: kadar air, berat jenis, batas plastis, indeks plastisitas, batas susut dan faktor susut tanah, kohesif (*cohesion c*), sudut gesek (*friction angle ϕ*), distribusi ukuran butir, dan kepadatan abu terbang.

TINJAUAN PUSTAKA

ASTM mendefinisikan pozzolan sebagai material bersifat aluminium dan *silica*. Bahan ini memiliki sedikit atau tidak mempunyai nilai bersifat semen. Tetapi, dari bentuk yang halus dan dengan adanya air secara kimia akan bereaksi dengan *calcium hydroxide* pada temperatur biasa untuk membentuk senyawa



Gambar 1. Letusan eksplosif Gunung Merapi



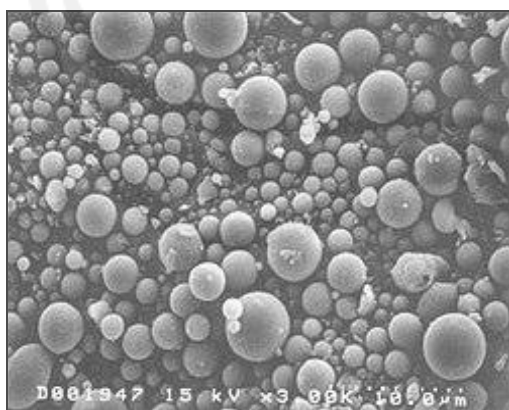
Gambar 2. Abu terbang Merapi pascaerupsi terlihat dari satelit milik NASA (foto: Reuters)

yang memiliki sifat-sifat kesemenan, (Headwaters, 2011).

Abu terbang adalah salah satu sisa yang dihasilkan dalam pembakaran, dan terdiri dari partikel yang halus bergerak naik lewat saluran asap. Abu yang tidak bergerak naik dalam bentuk *bottom ash*. Dalam suatu konteks industri, biasanya abu terbang yang dihasilkan selama pembakaran batu bara.

Umumnya abu terbang ditangkap oleh alat penangkap elektrostatis atau peralatan penyaring partikel yang lain sebelum saluran gas mencapai cerobong stasiun tenaga pembangkit batu bara. Gabungan abu yang ditangkap dan bersama-sama dengan *bottom ash* yang dipindahkan dari dasar tungku disebut abu batu bara (*coal ash*). Tergantung pada sumber dan usaha dari pembakaran batu bara yang ada.

Komponen abu terbang sangat bermacam-macam. Tetapi, kebanyakan abu terbang mencakup banyak unsur dari *silicon dioxide* (SiO_2) dan *calcium oxide* (CaO). Keduanya unsur ini menjadi unsur yang *endemic* di dalam kebanyakan lapisan batu atau karang (*rock*) yang mengandung batu bara, (Wikipedia, 2011; Rinker, 1993; Robinson, 2011).



Gambar 3 Photomicrograph dibuat dari Scanning Electron Microscope (SEM): Fly ash particles at 2,000x magnification

Kompas (2011) melaporkan bahwa skala erupsi lava Gunung Merapi sejak 26 Oktober hingga November 2010 merupakan periode pengulangan per abad. Muntahan material dari kepundan gunung berapi tergolong paling aktif di dunia sekitar 140 juta meter kubik. Jumlah ini tiga kali lipat daya tampung dam di 15

sungai yang berhulu di gunung ini. Fenomena ini mendorong penataan ulang kawasan Merapi.

Pemanfaatan abu terbang ini merupakan solusi yang dilakukan untuk mengurangi dampak yang dihasilkan dari limbah industri dari industri listrik PLTU Suralaya yang menggunakan bahan bakar batu bara. Abu terbang merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara dari industri pembangkit listrik. Sifat fisik abu terbang seperti bentuk, kehalusan, distribusi ukuran partikel kerapatan dan komposisi partikel akan mempengaruhi kekuatan beton.

Hasil penelitian mengenai penambahan abu terbang dalam campuran beton dapat mengakibatkan adukan beton tersebut mempunyai kelekatan yang baik, mengurangi bleeding, kemudahan pemompaan, adukan beton di dalam pipa pengecoran, lebih mudah dalam pengerjaan finishing, dan pada beton setelah mengeras. Beton tersebut menjadi memiliki kinerja tinggi khususnya dalam hal sifat mekaniknya. Beton yang menggunakan abu terbang mempunyai panas yang terjadi lebih rendah dari pada beton normal. Tetapi, pada saat lebih dari 40 jam, panas yang timbul lebih tinggi, hal ini menunjukkan reaksi hidrasi pada beton abu terbang lebih lambat, (Gunawan, 2005).

Edil (2006) mengevaluasi keefektifan kemampuan ikat abu terbang yang berasal dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik pada stabilisasi tanah berbutir halus yang lunak (*soft fine-grained soils*). Uji yang dilakukan mencakup tes *California bearing ratio* (CBR) dan *resilient modulus* (M_r) dilakukan pada tujuh campuran tanah berbutir halus yang lunak (enam tanah *inorganic* dan satu tanah *organic*) dan empat tipe abu terbang. Dua dari abu terbang merupakan abu kualitas tinggi kelas C (*ASTM C 618*) yang biasanya digunakan pada beton PC. Dua abu terbang yang lain merupakan abu diluar spesifikasi, berarti tidak dijumpai pada kriteria kelas C atau kelas F pada *ASTM C 618*. Tes dilakukan pada tanah dan campuran abu terbang dengan tanah pada kandungan air optimum (*optimum water content*) pada suatu kondisi standard. Kebasahan 7% dari kandungan air optimum (mewakili dari tipe kondisi lapangan daerah Wisconsin), dan kebasahan 9% sampai 18% dari kandungan air optimum (mewakili dari

suatu kondisi lapangan yang sangat basah). Tambahkan abu terbang mengakibatkan cukup besar meningkatkan nilai *CBR* dan M_r .

METODE PENELITIAN

Data yang dapat dihimpun dalam penelitian ini mencakup data skunder berupa: artikel, jurnal yang terkait dengan abu terbang. Sedangkan data primer akan diperoleh dengan melakukan survei awal penetapan lokasi di mana akan diambil abu terbang. Lokasi material abu terbang ditetapkan diambil dari Dusun Kentungan, Condong Catur, Depok, Sleman, DIY; berjarak 21,4 km dari Gunung Merapi. Sampel tak terusik (*undisturbed sample*) diambil secara random di 3 (tiga) titik sedalam 20 cm dari permukaan.

TEMUAN DAN DISKUSI

Pengujian sifat- fisik abu terbang mencakup pengujian adalah: kadar air (*water content*), berat jenis (*specific gravity*), tekan bebas (*unconfined compression*), geser langsung (*direct shear*), *Atterberg limit* (batas cair, batas plastis, batas susut), distribusi ukuran butir (*grain size distribution*), pemadatan (*compaction*). Tabel 1 memperlihatkan rekapitulasi hasil pengujian sifat- fisik abu terbang.

Selanjutnya hasil analisis yang menarik dari sifat-sifat fisik abu terbang Gunung Merapi ditampilkan berikut ini.

1. Kadar air abu terbang $w = 21,320\%$, menunjukkan bahwa endapan abu terbang yang diambil di lokasi mempunyai tingkat kebasahan yang cukup menyerap air.
2. Berat jenis abu terbang $G = 2,652$, ini menunjukkan bahwa berat jenis abu terbang sangat besar.
3. Berat unit kering (*dry unit weight* γ_d) $1,444 \text{ gr/cm}^3$ masuk jenis pasir seragam lepas (*loose uniform sand*).
4. *Atterberg limit* menginformasikan nilai *Liquid Limit* (LL) $24,74\%$; *Plastic Limit* (PL) $20,40\%$; *Shrinkage Limit* (SL) $28,69\%$ dan *Plasticity Index* (PI) $4,34\%$ termasuk *slightly plastic*. Angka susut (*shrinkage ratio* SR) $1,5$ termasuk *good soil type*. Dari analisis saringan abu terbang yang lolos saringan nomer 200 sebesar $61,30\%$. Sesuai *AASHTO classification system of Highway Subgrade materials* untuk

material yang lolos saringan nomer 200 sebesar minimum 36% , LL maksimum 40 dan PI maksimum 10 , abu terbang tersebut dalam group classification A-4 dan merupakan tipe biasanya dari material pilihan yang *significant* yaitu *silty soils*.

5. Berdasarkan *chart* hubungan *plasticity index* dan *liquid limit* oleh Casagrande (1932) abu terbang termasuk *Inorganic silts of low compressibility*.
6. Dari analisis saringan abu terbang dan pengujian hidrometer yang tertahan saringan nomer 200 diperoleh fraksi pasir (*sand*) $38,7\%$ dan lolos saringan nomor 200 sampai ukuran diameter 0.0223 mm berupa fraksi lanau (*silt*) $61,3\%$.
7. Nilai sudut geser efektif (*effective friction angle* ϕ) $25,9^\circ \sim 35^\circ$ dari pengujian *direct shear test* dan *unconfined compression test* menginformasikan abu terbang termasuk jenis gabungan *silts and loose sand*.
8. Dari hasil pengujian pemadatan diperoleh kadar air optimum (*optimum moisture content* OMC) $21,46\%$ dan kepadatan kering maksimum (*maximum dry density* MDD) $1,517 \text{ gr/cm}^3$.

KESIMPULAN

Setelah melewati rangkaian pengujian, data dan tahap kajian analisis dapat disimpulkan ada empat hal penting yang terkait dengan sifat-sifat fisik abu terbang Gunung Merapi.

Kadar air sebesar $21,320\%$ dan berat jenis yang tinggi sebesar $2,652$. Berat unit basah $1,663 \text{ gr/cm}^3$ dan berat unit kering $1,444 \text{ gr/cm}^3$, termasuk kelompok pasir seragam lepas (*loose uniform sand*).

Dari hasil pengujian analisis saringan abu terbang dan pengujian hidrometer menginformasikan fraksi pasir (*sand*) $38,7\%$ dan fraksi fraksi lanau (*silt*) $61,3\%$. Komposisi antara sand dan silt sangat tergantung dari jarak sumber deposit abu terbang. Fraksi sand yang diameternya lebih besar akan turun turun lebih cepat. Semakin jauh dari Gunung Merapi kandungan *silt* akan lebih dominan dari kandungan *sand*.

Sesuai *AASHTO classification system of Highway Subgrade materials* untuk abu terbang tersebut dalam group classification A-4



Laboratorium Mekanika Tanah
Fakultas Teknik
Universitas atma Jaya Yogyakarta

Penelitian: Sifat-Sifat Fisik Abu Terbang Merapi
Lokasi : Dusun Kentungan, Condong Catur, Depok, Sleman, DIY
Tanggal : 27 Oktober 2011

Water content w	Specific gravity G	Weight of volume		Unconfined compression		Direct shear		Atterberg limit			Compaction		
		γ	γ_d	c value	ϕ value	Q _u	c value	ϕ value	LL	PL	SL	OMC	MDD
(%)		gr/cm ³	gr/cm ³	Kg/cm ²	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	°	%	%	%	%	gr/cm ³
21,320	2,652	1,663	1.444	0,082	35	0,417	0.385	25,9	24,74	20,40	28,69	21,46	1,517

Keterangan:

$$\phi = (62,5^\circ - 45^\circ) \times 2 = 35^\circ$$

$$\text{Flow Index} = 9,29$$

$$\text{Plasticity Index } PI = LL - PL = 4,34\%$$

Moist unit weight (γ)
Dry unit weight (γ_d)
Effective cohesion (c)
Effective friction angle (ϕ)
Liquid Limit (LL)
Plastic Limit (PL)
Shrinkage Limit (SL)
Optimum moisture content (OMC)
Maximum dry density (MDD)

dan merupakan tipe biasanya dari material pilihan yang significant yaitu *silty soils*. Abu terbang termasuk *Inorganic silts of low compressibility*.

Effective friction angle ϕ batas bawah 25,9° dan batas atas 35°.

Optimum moisture content (OMC)= 21,46% dan *maximum dry density* (MDD)=1,517 gr/cm³.

SARAN

Dari pengamatan pengujian dan saat analisis data sifat-sifat fisik abu terbang Gunung Merapi ada informasi yang menarik untuk dikaji lebih komprehensif. Hal yang pertama yang terkait dengan jarak sumber abu terbang dari Gunung Merapi dengan sebaran komposisi fraksi sand dan fraksi *silt*. Hal kedua saat terjadi kegagalan melakukan pengujian batas plastis secara standar sample digiling di atas lempeng kaca. Selanjutnya saran untuk kedua hal di atas dapat dilihat uraian berikut ini.

Komposisi abu terbang antara fraksi pasir (*sand*) 38,7% dan fraksi lanau (*silt*) 61,3% yang diambil dari lokasi Dusun Kentungan berjarak 21,4 km ke arah selatan dari Gunung Merapi. Dari jarak sebaran sangat mempengaruhi komposisi sand dan silt abu terbang. Semakin dekat dengan Gunung Merapi berarti kandungan pasir butir yang lebih besar akan lebih dominan dari butiran halus *silt*. Selanjutnya akan mempengaruhi hasil uji nilai sudut geser efektif (*effective friction angle* ϕ). Semakin besar komposisi sand akan membesar nilai sudut geser efektif. Perlu diperhatikan setiap studi lanjut pemanfaatan abu terbang yang terkait dengan sifat-sifat fisik perlu diselidiki lagi karena sifat-sifat fisik akan berubah tergantung sebaran jarak abu merapi.

Pengujian batas plastis abu terbang secara standar sampel digiling di atas lempeng kaca selalu gagal. Semua sampel pasta abu terbang dari percobaan cawan Casagrande yang digiling lengket pada permukaan kaca. Kemudian

dicoba sample pasta abu terbang digiling pada telapak tangan dan berhasil. Pada telapak tangan sampel pasta abu terbang tidak lengket dan berhasil mencapai ukuran diameter 3 mm dan sample mulai retak-retak.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1982, AASHTO Materials, Part I, Specifications, Washington, D.C.
- Bowles, J.E., 1970, Engineering Properties of Soils and Their Measurement, McGraw-Hill, New York.
- Casagrande, A., 1932, Research of Atterberg Limits of Soils, Public Roads, Vol.13, No.8, 121-136.
- Das, B.M., 2002, Principles of Geotechnical Engineering, Fifth Edition, Brooks/Cole, Pacific Grove, CA USA.
- Edil, T.B., 2006, Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash, Journal of Materials in Civil Engineering © ASCE.
- Federal Highway Administration (FHWA), 2002, Subsurface Investigation – Geotechnical Site Characterization, No. Publication FHWA NHI-01-031. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Gunawan, K., et.al., 2005, Perkembangan Pemanfaatan Abu Terbang untuk Beton Mutu Tinggi. Jurnal InovasiTM. vol. 4, No.1. April 2005.
- Headwaters, 2011, Fly Ash-Types and Benefits, Buletin Number 1, www.flyash.com.
- Kompas, 2011, Mengelola Material Merapi, Artikel Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Rabu, 19 Januari 2011.
- Lambe, T.L., 1969, Soil Testing for Engineering, John Wiley & Sons, New York.
- Rinker, 2011, Fly Ash, www.rinkerpipi.com/
- Reuters, 2010, Merapi Pascaerupsi Terlihat dari Satelit Milik NASA.
- Welsh, J.P., 1987, Soil Improvement, Geotechnical Special Publication No.12, ASCE, New York.
- Wikipedia, 2010, Mount Merapi in Central Java, Wikipedia the free Encyclopedia.
- Wikipedia, 2011, Fly Ash, Wikipedia the free Encyclopedia.