

# Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik

Muhardi  
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau  
Email: muhardi@eng.unri.ac.id

## ABSTRAK

Abu terbang dan abu dasar adalah hasil pembakaran batu bara yang merupakan limbah yang meningkat setiap tahunnya. Perbedaan jenis batu bara menghasilkan variasi kandungan dari abu batu bara yang berbeda. Penelitian ini mengkaji karakteristik kimia, fisis dan mekanis abu terbang dan abu dasar dalam geoteknik dengan melihat pengaruh karakteristik terhadap pertambahan umur pada 7, 28, dan 56 hari. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk melihat adanya senyawa yang berperan dalam reaksi pozzolan selama masa pemeraman. Hasil pengujian fisis menunjukkan bahwa abu terbang memiliki ukuran butiran tanah lanau dan abu dasar memiliki kemiripan perilaku seperti pasir. Pada pengujian mekanis, terjadi perubahan seperti pengecilan nilai permeabilitas, angka pori, dan indeks pemampatan seiring dengan bertambahnya umur. Selain itu terjadi peningkatan sudut geser, kohesi, dan nilai CBR seiring dengan bertambahnya umur pemeraman.

*Kata kunci: abu terbang, abu dasar, reaksi pozzolan, karakteristik kimia, fisis dan mekanis*

## 1. Pendahuluan

Batu bara adalah sumber daya alam yang dihasilkan dari proses kimia dan pergerakan geologi dari material-material selama lebih dari puluhan sampai ratusan juta tahun. Batu bara adalah mineral organik yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan yang mengendap yang selanjutnya berubah bentuk akibat proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun (Anam, 2008). Proses awalnya, endapan tumbuhan berubah menjadi gambut, selanjutnya berubah menjadi batu bara muda. Setelah mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus menerus, batu bara muda akan mengalami perubahan yang secara bertahap menambah maturitas organiknya dan berubah menjadi *sub-bituminous*. Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batu bara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam sehingga membentuk *bituminous*.

Batu bara banyak digunakan sebagai bahan bakar dalam penghasil energi pada pembangkit tenaga listrik. Hasil pembakaran batu bara menghasilkan sisa pembakaran berupa abu yang dapat dikategorikan ke dalam dua bentuk, yaitu abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*). Komposisi abu batu bara yang dihasilkan terdiri dari 5% - 15% abu dasar, sedangkan sisanya sekitar 85% - 95% berupa abu terbang (JCOAL, 2008). Abu batu bara merupakan bahan buangan padat sisa pembakaran batu bara yang dapat mengakibatkan dampak lingkungan berupa polusi udara (tekMIRA, 2010).

Abu terbang adalah abu yang dihasilkan dari transformasi, pelelehan atau gasifikasi dari material anorganik yang terkandung dalam batubara (Molina dan Poole, 2004). Abu dasar mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada abu terbang, sehingga abu dasar akan jatuh pada dasar tungku pembakaran dan terkumpul pada penampung debu lalu dikeluarkan dengan cara

disemprot dengan air untuk kemudian dibuang dan dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian pasir.

PT. Indah Kiat Pulp and Paper (IKPP) Perawang, Riau merupakan salah satu perusahaan pengguna batu bara sebagai bahan bakar.. Menurut Anam (2008) konsumsi batu bara oleh PT. IKPP pada tahun 2005 sebesar 530.440 ton.

Sifat kimia, fisis, dan mekanis dari abu batu bara tergantung dari tipe batu bara, asal, ukuran, teknik pembakaran, ukuran *boiler*, proses pembuangan, dan metoda penanggulangan (Talib, 2009).

Berdasarkan CIRCA (2010), secara umum abu batu bara dapat digunakan sebagai lapisan *base* atau *sub-base* pada jalan, agregat dalam beton dan aspal, material timbunan, pengontrol es dan salju, bahan dasar klinker semen, dan reklamasi.

Berdasarkan penelitian Muhardi *et al* (2010) diketahui bahwa ukuran partikel abu batu bara berdasarkan SEM (*Scanning Electron Microscopic*) bertambah seiring dengan bertambahnya masa pemeraman yaitu 7 dan 28 hari akibat adanya reaksi pozzolan. Ramme dan Tharaniyil (2000), Pando dan Hwang (2006) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa abu dasar menunjukkan reaksi pozzolan yang lebih sedikit daripada abu terbang. Reaksi pozzolan tersebut membuat abu dasar tersementasi, mengikat dan mengeras.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kimia dan fisis abu batu bara, serta pengaruh perilaku mekanis abu dasar dalam geoteknik dengan pemeraman selama 7, 28 dan 56 hari. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam aplikasi geoteknik serta dapat mengurangi penggunaan lahan untuk penumpukan akhir abu batu bara tersebut.

## 2. Metodologi Penelitian

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian karakteristik kimia, fisis dan mekanis. Pengujian kimia dengan metode Atom Absorption dilakukan untuk mengetahui persentase senyawa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CaO}$  pada abu batu bara. Pengujian perilaku fisis meliputi analisa saringan, berat jenis, proctor dan kadar air. Perilaku mekanis meliputi pengujian geser langsung, UCS (*Unconfined Compression Strength*), triaksial UU (*Unconsolidated Undrained*), CBR, permeabilitas dengan metode *falling head* untuk abu terbang dan *constant head* untuk abu dasar dan konsolidasi. Benda uji selanjutnya diujikan dengan masa pemeraman yaitu 7, 28, dan 56 hari. Semua pengujian dilakukan sesuai dengan standar ASTM D. Jumlah benda uji untuk pengujian sifat fisis adalah 3 buah dan untuk pengujian sifat mekanis adalah 5 buah.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Karakteristik Kimia Abu Batu Bara

Hasil pengujian serta perbandingan komposisi kimia abu batu bara yang berasal dari PT. IKPP yang diteliti oleh Maharani (2011) dan Nainggolan (2011) dengan beberapa penelitian terdahulu dengan sumber abu terbang dan abu dasar yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999 abu terbang dan abu dasar dikategorikan sebagai limbah B3 karena mengandung logam berat tetapi tidak beracun (tekMIRA, 2010). Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat

dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa abu terbang dan abu dasar mengandung logam berat yaitu Fe dan Mn. Fe dan Mn karena massa jenisnya lebih besar dari  $5 \text{ gr/cm}^3$  yaitu  $7,87 \text{ gr/cm}^3$  dan  $7,44 \text{ gr/cm}^3$ , namun tidak bersifat racun. Hasil pengujian komposisi kimia tidak ditemukan adanya kandungan logam berat yang bersifat racun seperti Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn dan Zn. Hal tersebut juga telah diteliti oleh Khaerunisa (2010) bahwa abu batu bara yaitu abu dasar dan abu terbang relatif tidak berbahaya bagi lingkungan.

Tabel 1. Perbandingan komposisi kimia abu terbang

Komposisi Kimia	Tribuana (2006) (%)	Faroq (2008) (%)	Aziz <i>et al</i> (2006) (%)	Pandian(2004) (%)	Muhar <i>diet al</i> (2007) (%)	Maharani, (2011) (%)
SiO <sub>2</sub>	21,92	23,62	72,90	38-63	51,8	45,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16	1,96	11,37	27-44	26,5	37,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,47	0,52	5,93	3,3-6,4	8,5	11,17
CaO	22,8	44,8	3,19	0,2-8	4,81	1,74
K <sub>2</sub> O	-	-	0,46	0,04 - 0,9	3,27	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	0,76	0,4 - 1,8	1,38	-
MgO	7,9	1,26	1,99	0,01 - 0,5	1,1	-
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	-	-	-	0,9	-
Na <sub>2</sub> O	1,37	-	1,45	0,07 - 0,43	0,67	-
SO <sub>3</sub>	11,85	-	-	-	0,6	-
LOI	-	-	1,04	0,2 - 3,4	-	3,98
MnO <sub>3</sub>	0,18	-	-	-	-	-

### 3.2 Karakteristik Fisis Abu Batu Bara

Secara visual abu terbang berwarna keabu-abuan dan berbutir halus dibandingkan dengan abu dasar berwarna hitam keabu-abuan dan berbutir

kasar. Ukuran butirnya abu terbang bervariasi antara  $0,1 - 200 \mu\text{m}$ . Perbandingan kurva distribusi ukuran butiran abu terbang dan abu dasar dengan penelitian lain berdasarkan pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 2. Perbandingan komposisi kimia abu dasar

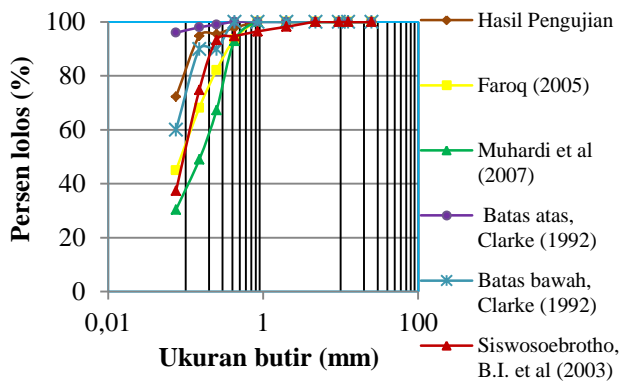
Komposisi Kimia	Kasemch					
	Pando dan Hwang, (2006) (%)	aisiri dan Tangtersiri, (2008) (%)	Abdullahi, (2009) (%)	Rifai (2009) (%)	Muhardiet <i>al</i> (2010) (%)	Nainggolan (2012) (%)
SiO <sub>2</sub>	30,83	38,64	50,15 - 54,7	63,67	42,7	58,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,2	21,15	5,2 - 7,3	13,43	23	20,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,95	11,96	6,7 - 18,34	11,41	17	9,78
CaO	36,02	13,83	3,18 - 11,21	5,46	9,8	3,17
K <sub>2</sub> O	0,66	2,06	1,55 - 1,74	1,03	0,96	-
TiO <sub>2</sub>	0,57	-	0,39 - 0,63	-	1,64	-
MgO	1,58	2,75	0,16 - 0,59	2,46	1,54	-
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37	-	-	-	1,04	-
Na <sub>2</sub> O	0,55	0,9	0,41 - 0,93	-	0,29	-
SO <sub>3</sub>	12,82	0,61	0,14 - 0,9	-	1,22	-
BaO	0,27	-	-	-	0,19	-
LOI	-	7,24	10,89 - 13,42	0,84	-	-
SrO	0,15	-	-	-	-	-
MnO <sub>3</sub>	0,03	-	0,03 - 0,07	-	-	-

Dari Gambar 1 terlihat hasil pengujian berbeda dengan distribusi ukuran butiran dengan Faroq (2005) dan Muhardi *et al* (2007). Hal ini disebabkan karena dalam pengujian menggunakan analisa ayakan cara basah sedangkan pengujian yang dilakukan Faroq (2005) dan Muhardi *et al* (2007) menggunakan analisa ayakan cara kering. Hasil penelitian ini abu terbang memiliki kemiripan dengan ukuran lanau tak organik (ML) pada klasifikasi USCS atau ukuran lanau (A-4) pada klasifikasi AASHTO.

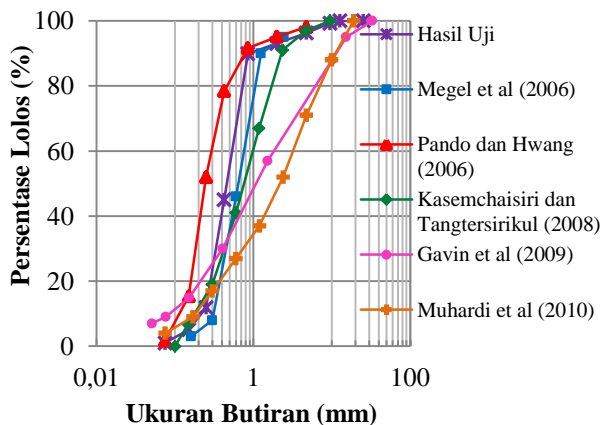
Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa distribusi ukuran butiran abu dasar memiliki kemiripan dengan penelitian Megel *et al* (2006), Pando dan Hwang (2006) dan penelitian Kasemchaisiri dan Tangtersiri (2008). Hasil penelitian ini abu dasar memiliki kemiripan dengan

ukuran pasir bergradasi buruk (SP) pada klasifikasi USCS atau ukuran pasir halus (A-3) pada klasifikasi AASHTO.

Klasifikasi dengan USCS dan AASHTO untuk abu terbang dan abu dasar berdasarkan kepada hasil pengujian analisa ayakan karena abu terbang dan abu dasar tidak plastis dimana pengujian batas Atterberg tidak bisa dilakukan.



Gambar 1. Perbandingan kurva distribusi ukuran butiran abu terbang (Nainggolan, 2012)



Gambar 2. Perbandingan kurva distribusi ukuran butiran abu dasar (Maharani, 2011)

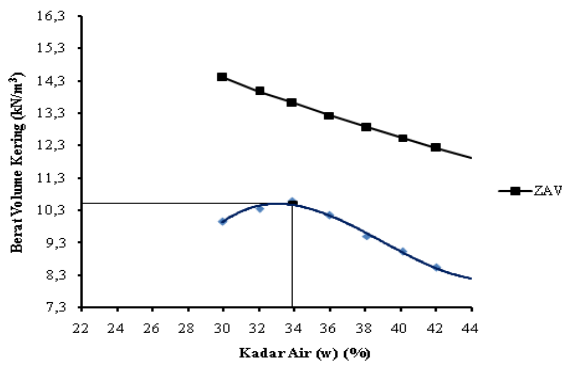
Abu terbang dan abu dasar yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis kering. Berdasarkan pengujian berat jenis abu terbang diperoleh nilai rata-rata sebesar 2,60 sesuai

dengan batas berat jenis abu terbang hasil penelitian Clarke (1992), Pandian (2004), Yoon *et al* (2009), Muhardi *et al* (2007) dan Faroq (2005). Sedangkan pada penelitian Mutohar (2002) menunjukkan hasil berat jenis abu terbang lebih besar dari berat jenis abu terbang PT. IKPP Perawang. Selanjutnya pada penelitian Das (2011), Risman (2008) dan Sahu (2001) menunjukkan hasil berat jenis abu terbang yang lebih kecil. Sedangkan berat jenis abu dasar diperoleh nilai rata-rata sebesar 2,27. Kim *et al* (2006) menyatakan bahwa berat jenis abu dasar kering berkisar antara 2,0 - 2,6.

Berdasarkan pengujian kadar air abu terbang nilai rata-rata sebesar 0,545%. Dibandingkan dengan penelitian Andoyo (2006), kadar air yang didapat mendekati yaitu 0,6%. Nilai kadar air abu terbang dari penelitian Santos (2011) menunjukkan nilai lebih rendah yaitu 0,13% dan pada penelitian Faroq (2005) kadar air yang didapat menunjukkan nilai lebih tinggi yaitu 3,41% - 4,83%. Untuk pengujian kadar air abu dasar diperoleh nilai rata-rata sebesar 0,14%. Dibandingkan dengan kadar air abu dasar pada penelitian Talib (2010) menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada kadar air abu dasar PT. IKPP yaitu 17,5% - 20%.

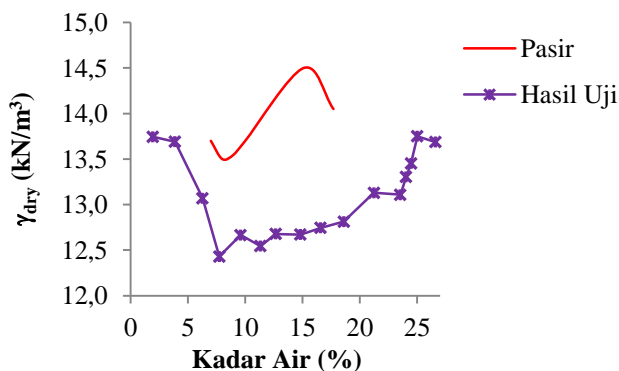
### 3.3 Karakteristik Mekanis Abu Batu Bara

Perilaku pemadatan standar terhadap abu terbang dan abu dasar dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Hasil pengujian ini dijadikan sebagai acuan untuk menentukan kadar air optimum dalam pengujian selanjutnya, seperti pengujian permeabilitas, geser langsung, konsolidasi, CBR, Triaxial dan UCS.



Gambar 3. Perilaku pemadatan standar abu terbang PT. IKPP (Nainggolan, 2012)

Dari Gambar 3 hasil pengujian pemadatan Proctor standar didapatkan nilai berat kering maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ) abu terbang sebesar 10,59 kN/m<sup>3</sup> dan OMC sebesar 33,88%, maka pada pembuatan benda uji selanjutnya digunakan kadar air optimum yaitu 34%.



Gambar 4. Perilaku pemadatan standar abu dasar PT. IKPP (Maharani, 2011)

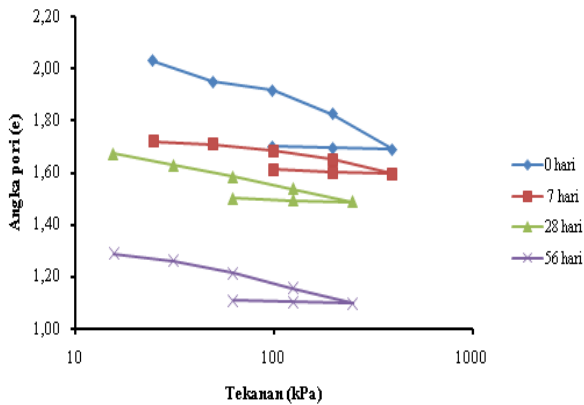
Berdasarkan Gambar 4 terlihat grafik pemadatan abu dasar tidak memiliki puncak. Pada saat dipadatkan pada kadar air ditambahkan 30% - 40% air tidak dapat diserap lagi oleh abu dasar. Pemadatan membuat butiran abu dasar turun ke dasar dan air menggenang di atasnya bahkan mengalir keluar dari benda uji. Hal ini memiliki

kesamaan dengan penelitian Gavin *et al* (2009). Air mengalir keluar dari abu dasar pada saat kelebihan air dan tidak dapat diserap lagi (*water bleeding*). Berdasarkan pengujian tersebut diperoleh  $w_{opt}$  abu dasar sebesar 25,03 % dengan  $\gamma_{dmax}$  13,75 kN/m<sup>3</sup>, maka pada pembuatan benda uji selanjutnya digunakan kadar air optimum yaitu 25 %.

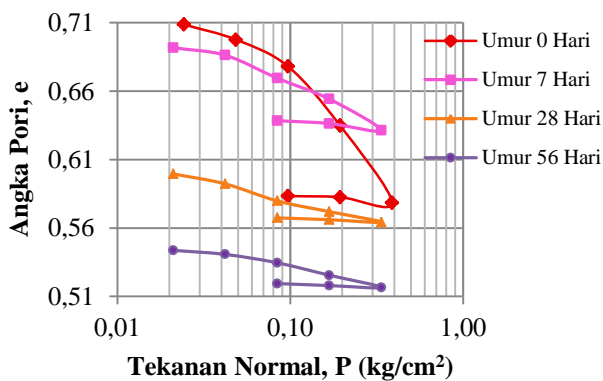
Hasil pengujian permeabilitas abu terbang untuk 0 hari rata-rata  $7,49 \times 10^{-5}$  cm/detik, untuk 7 hari rata-rata  $5,12 \times 10^{-5}$  cm/detik, untuk 28 hari rata-rata  $4,26 \times 10^{-5}$  cm/detik dan untuk 56 hari rata-rata  $3,22 \times 10^{-5}$  cm/detik. Berdasarkan pengujian permeabilitas abu terbang termasuk dalam rentang kategori lanau yaitu  $10^{-5} - 10^{-3}$  cm/detik. Untuk pengujian permeabilitas abu dasar rata-rata  $8 \times 10^{-3}$  cm/detik pada umur 0 hari;  $7,27 \times 10^{-3}$  cm/detik pada umur 7 hari;  $6,57 \times 10^{-3}$  cm/detik pada umur 28 hari, dan  $5,72 \times 10^{-3}$  cm/detik pada umur 56 hari. Nilai tersebut termasuk dalam rentang kategori pasir halus yaitu  $10^{-3} - 10^{-2}$  cm/detik.

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa koefisien permeabilitas abu terbang dan abu dasar mengecil seiring dengan bertambahnya umur pemeraman benda uji. Pengecilan koefisien permeabilitas ini dapat terjadi akibat adanya reaksi pozzolan yang terjadi antara SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan CaO yang terkandung dalam abu terbang dan abu dasar dengan air. Selain itu adanya pembesaran partikel abu dasar setelah pemeraman seperti yang dikemukakan oleh Muhardi *et al* (2010) juga dapat menyebabkan rongga pori pada abu terbang dan abu dasar mengecil dan memperlambat laju aliran air melalui pori-porinya.

Perilaku konsolidasi abu terbang dan abu dasar PT. IKPP pada umur 0, 7, 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Perilaku konsolidasi abu terbang PT. IKPP (Nainggolan, 2012)

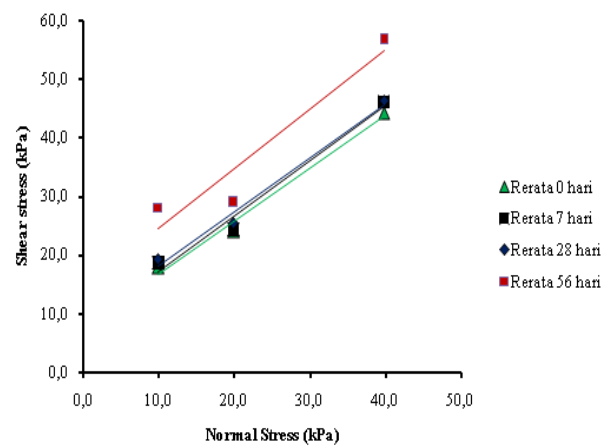


Gambar 6. Perilaku konsolidasi abu dasar PT. IKPP (Maharani, 2011)

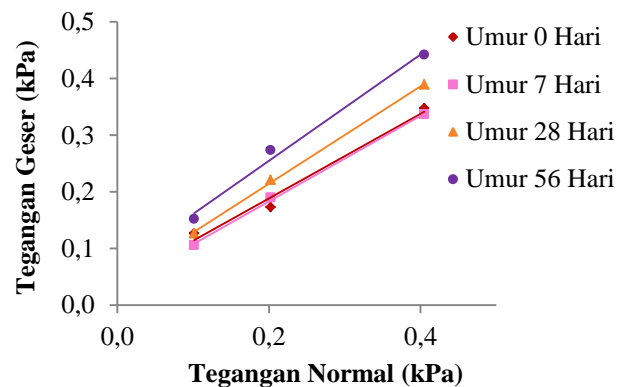
Pada Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa angka pori awal abu terbang dan abu dasar secara umum berkurang seiring dengan bertambahnya umur pemeraman. Pengecilan angka pori awal abu terbang dan abu dasar setelah adanya pemeraman sejalan dengan mengecilnya koefisien permeabilitas. Hal tersebut membuat waktu yang diperlukan untuk mencapai konsolidasi 90% menjadi semakin lama karena kecepatan rembesan air keluar dari rongga pori abu dasar semakin lambat. Berdasarkan pengujian konsolidasi juga diperoleh bahwa nilai indeks pemampatan mengecil

seiring dengan bertambahnya umur pemeraman. Hal ini dapat terjadi karena angka pori awal abu terbang dan abu dasar mengecil selama masa pemeraman akibat adanya reaksi pozzolan dan pembesaran partikel.

Grafik hubungan antara tegangan normal terhadap tegangan geser abu terbang dan abu dasar dari pengujian geser langsung pada umur 0, 7, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Grafik hasil pengujian geser langsung abu terbang PT. IKPP (Nainggolan, 2012)

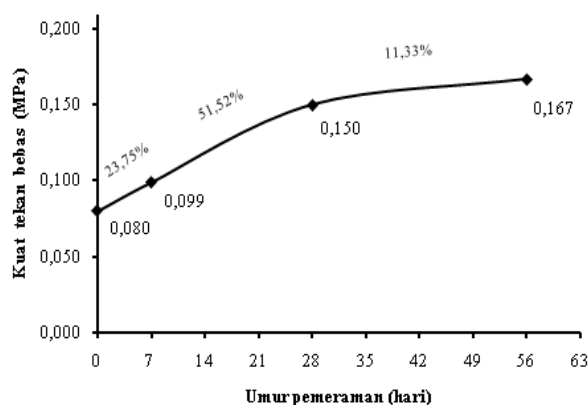


Gambar 8. Grafik hasil pengujian geser langsung abu dasar PT. IKPP (Maharani, 2011)

Pada Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat bahwa sudut geser dan kohesi abu terbang dan abu dasar menunjukkan peningkatan sesuai dengan bertambahnya umur pemeraman. Peningkatan sudut geser abu terbang dan abu dasar dapat disebabkan oleh adanya pembesaran partikel selama masa pemeraman benda uji. Pembesaran partikel tersebut membuat bidang kontak antar butiran abu terbang dan abu dasar tersebut menjadi semakin besar dan meningkatkan sudut geser abu dasar tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian Muhardi *et al*(2010) mengemukakan bahwa pemadatan membuat benda uji didominasi oleh partikel halus dan angular setelah diperam selama 7 dan 28 hari. Sedangkan meningkatnya kohesi abu terbang dan abu dasar dapat disebabkan oleh reaksi pozzolan yang membuat partikel halus abu dasar berikatan. Menurut Muhardi *et al* (2010) sebagian partikel halus yang hancur saat pemadatan menggumpal dan berikatan setelah adanya pemeraman.

Peningkatan sudut geser dan kohesi dari abu terbang dan abu dasar tidak terlalu signifikan. Sedikit peningkatan sudut geser dan kohesi tersebut sejalan dengan sedikitnya persentase CaO yang berperan penting saat reaksi pozzolan.

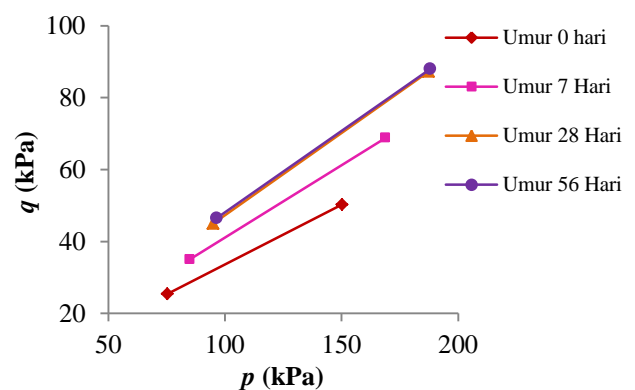
Hasil pengujian UCS abu terbang pada umur 0, 7, 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perilaku abu terbang dari pengujian UCS (Nainggolan, 2012)

Hasil pengujian UCS untuk nilai  $q_u$  mengalami peningkatan dari umur pemeraman 0 hari terhadap umur pemeraman 7 hari yakni 23,75%, dari umur pemeraman 7 hari terhadap umur pemeraman 28 hari naik 51,52%, selanjutnya dari umur pemeraman 28 hari terhadap umur pemeraman 56 hari meningkat 11,33%.

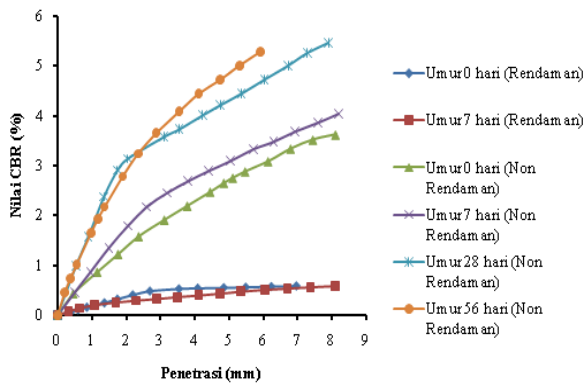
Hasil pengujian triaksial abu dasar pada umur 0, 7, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 10.



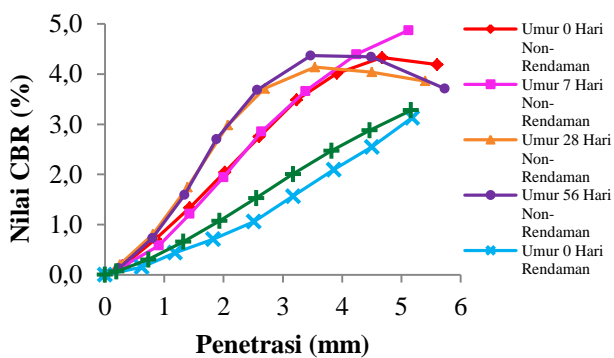
Gambar 10. Grafik hasil pengujian triaksial abu dasar PT. IKPP (Maharani, 2011)

Berdasarkan Gambar 10 diperoleh bahwa sudut geser dan kohesi abu dasar meningkat seiring dengan bertambahnya umur pemeraman. Peningkatan kohesi dan sudut geser akibat adanya pemeraman pada benda uji triaksial terjadi seperti halnya pada benda uji geser langsung.

Grafik hasil pengujian CBR non-rendaman dan CBR rendaman abu terbang dan abu dasar PT. IKPP dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Grafik hasil pengujian CBR abu terbang PT. IKPP (Nainggolan, 2012)



Gambar 12. Grafik hasil pengujian CBR abu dasar PT. IKPP (Maharani, 2011)

Berdasarkan Gambar 11 dan Gambar 12 diperoleh nilai CBR abu terbang dan abu dasar pada umumnya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur pemeraman khususnya pada penetrasi 0,1 inci. Peningkatan nilai CBR abu terbang dan abu dasar ini dapat disebabkan oleh adanya pembesaran partikel yang membuat bidang kontak antar partikel abu dasar semakin besar, serta reaksi pozzolan yang dapat meningkatkan kohesi benda uji sehingga rekatan antar partikel menjadi semakin kuat. Hal ini menyebabkan angka pori abu terbang dan abu dasar menjadi semakin kecil seiring dengan bertambahnya waktu, namun tidak merubah kepadatan. Sehingga seiring dengan

bertambahnya umur benda uji nilai CBR abu dasar juga meningkat.

Kekuatan abu dasar pada penetrasi 0,2 incicenderung menurun untuk benda uji dengan umur 7, 28, dan 56 hari. Hal tersebut dapat terjadi karena hancurnya partikel abu dasar akibat adanya perilaku seperti partikel *popcorn* dan lepasnya ikatan yang berasal dari reaksi pozzolan pada saat beban melebihi daya dukung abu dasar. Hancur dan lepasnya ikatan dari reaksi pozzolan ini dikarenakan komposisi kandungan CaO dari abu dasar dalam penelitian ini rendah. Sehingga reaksi pozzolan yang terjadi pun lebih sedikit dan lemah. Hal ini tidak terjadi pada abu terbang, nilai CBR pada penetrasi 0,2 inci memperlihatkan peningkatan.

Potensi penggunaan abu batu bara dalam bidang Geoteknik berdasarkan hasil pengujian bisa digunakan sebagai bahan tambah atau pengganti untuk pembuatan *subgrade* dan dinding penahan tanah karena mempunyai berat jenis yang kecil, nilai permeabilitas yang besar dibandingkan dengan tanah timbunan sehingga mengurangi beban. Keuntungan menggunakan abu batu bara adalah perilaku yang sama dengan semen yang bisa mengeras dengan hanya dicampurkan dengan air. Keuntungan lainnya dari segi ekonomi adalah bagi industri akan mengurangi penyediaan lahan untuk tempat pembuangan limbah. Juga karena abu batu bara merupakan limbah yang akan dibuang atau ditumpuk maka tidak ada biaya langsung untuk pengadaan material yang diperlukan.

#### 4. Kesimpulan

1. Komposisi kimia abu terbang PT. IKPP Perawang mengandung  $\text{SiO}_2$  sebesar 45,58%,



- $Al_2O_3$  sebesar 2,08%,  $Fe_2O_3$  sebesar 1,17, dan CaO sebesar 1,74%, sedangkan komposisi kimia abu dasar terdiri dari  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , dan CaO dengan persentase berturut-turut 58,79 %, 20,33 %, 9,78 %, dan 3,17 %.
- Berdasarkan klasifikasi USCS abu terbang mempunyai ukuran partikel sama dengan ukuran lanau tak organik (ML), sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO abu terbang sama dengan ukuran lanau (A-4). Untuk abu dasar berdasarkan klasifikasi USCS mempunyai ukuran partikel yang sama dengan ukuran pasir bergradasi buruk (SP), sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO abu dasar sama dengan ukuran pasir halus (A-3).
  - Berat jenis rata-rata abu terbang adalah 2,62 dan abu dasar adalah 2,27.
  - Hasil pengujian pemadatan Proktor standar didapat  $\gamma_{dmax}$  abu terbang sebesar 10,59 kN/m<sup>3</sup> dengan  $w_{opt}$  yaitu 33,88% sedangkan abu dasar menunjukkan perilaku pemadatan yang sama dengan pasir dengan  $\gamma_{dmax}$  sebesar 13,75 kN/m<sup>3</sup> dan  $w_{opt}$  sebesar 25,03 %
  - Koefisien permeabilitas abu terbang termasuk dalam kategori lanau, sedangkan abu dasar termasuk dalam kategori pasir halus. Terjadi pengurangan nilai koefisien permeabilitas seiring dengan bertambahnya umur pemeraman.
  - Terjadi pengurangan angka pori dan indeks pemampatan pada uji konsolidasi abu terbang dan abu dasar, seiring dengan bertambahnya umur pemeraman.

- Kohesi dan sudut geser abu terbang dan abu dasar meningkat seiring dengan bertambahnya umur pemeraman.
- Nilai CBR abu terbang dan abu dasar meningkat seiring dengan bertambahnya umur. Hal ini sesuai dengan meningkatnya sudut geser dan kohesi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdulah, M. Muazu. 2009. *Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash as Road Construction Material*. Minna: Federal University of Technology, Civil Engineering Department.
- Anam, A. 2008. *Dimethyl Ether (DME) dari Batu Bara sebagai Bahan Bakar Gas Alternatif Selain LPG*. Balai Besar Teknologi Energi: Tangerang.
- Andoyo. 2006. *Pengaruh penggunaan abu terbang (fly ash) terhadap kuat tekan dan serapan air pada mortar*. Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- CIRCA. 2010. *Origin and Applications of Bottom Ash*. Association of Canadian Industries Recycling Coal Ash: Canada.
- Clarke, B.G. 1992. *Structural Fill*. National seminar the use of PFA in construction, Concrete Technology Unit, Department of Civil Engineering, University of Dundee.
- Das, R.R. 2011. *Geo-engineering properties of fly ash*. Department of Civil Engineering National Institute of Technology. Rourkela: Deemed University.
- Faroq, M.F. 2005. *Perilaku fisis dan mekanis abu terbang (fly ash) dalam rekayasa geoteknik*. Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Gautreau, Gavin P., Abu-Farsakh, Murad Y. dan Zhang, Zhongjie. 2009. *Bottom Ash Test Section Evaluation Erwinville, LA*.
- JCOAL. 2008. Japan Coal Energy Center.
- Kasemchaisiri, R. Dan Tangersirikul, S. 2008. *Properties of Self-Compacting Concrete*

- in Corporation Bottom Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate.*
- Maharani, M. Sarah. 2011. *Karakteristik Kimia, Fisis dan Mekanis Abu Dasar (Bottom Ash) dalam Geoteknik.* Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau
- Kim, B., Prezzi, M., Salgado, R. 2005. *Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankments.* Journal of Geotechnical and Geo-Environmental Engineering ASCE. Vol. 131, No. 7, pp 914-924.
- Megel, Anthony. J., Parker, David. B., Mitra, Rana, Sweeten, John. M. 2006. *Assessment of Chemical and Physical Characteristics of Bottom, Cyclone, and Bag house Ashes from the Combustion of Manure.* Portland: ASABE Annual International Meeting.
- Muhardi, Suryanita, R., Alsaidi. 2007. *Perbaikan Karakteristik Batu Bata Lempung Dengan Penambahan Abu Terbang.* Jurnal Teknik Sipil. Vol. 2, No.5, pp 30-36
- Muhardi., Marto, A., Kasim, K. A., Mahir, A., Lee, F.W., dan Yap, L. S.. 2010. *Engineering Characteristics of Tanjung Bin Coal Ash.* Electronic Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 15 Bund K, pp 1117-1129
- Mutohar, Y. 2002. *Pengaruh penggunaan filler fly ash terhadap nilai karakteristik campuran aspal emulsi bergradasi rapat.* Tesis Program Magister Teknik Sipil. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nainggolan, Abdisihar. 2012. *Karakteristik Fisis dan Mekanis Abu Terbang dalam Geoteknik.* Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau
- Pandian, N.S. 2004. *Fly Ash Characterization with Reference to Geotechnical Applications.* Journal of Indian of Institute of Science. Vol. 84, pp 189-216
- Pando, Miguel, Sangchul, Hwang, Guadalupe, Yaurel., Reyes, Arleene., Rossi, Lisa dan Ruiz Edgardo. 2006. *Possible Applications for Circulating Fluidized Bed Coal Combustion By-Products from the Guayama Aes Power Plant.* Puerto Rico: University of Puerto Rico.
- Ramme, B. W dan Tharaniyil, M. P. 2000. *We Energies Coal Combustion Products Utilization Handbook.*
- Rifai, Ahmad., Yasafuku, Noriyuki., dan Tsuji, Kazuyoshi. 2009. *Characterization and Effective Utilization of Coal Ash as Soil Stabilization on Road Application.* Geotechnical Society of Singapore: Singapore.
- Risman. 2008. *Kajian kuat geser dan CBR tanah lempung yang distabilisasi dengan abu terbang dan kapur.* Wahana Teknik Sipil. Vol. 13 no 2, pp 99-110.
- Sahu, B.K., 2001. *Improvement in California Bearing Ratio of Various Soils In Botswana By Fly Ash.* International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research: University of Kentucky.
- Santos,F., Li,L., Li, Y., Amini, F. 2011 *Geotechnical Properties of Fly Ash and Soil Mixtures for Use in Highway Embankments.* World of Coal Ash (WOCA) Conference. Denver, USA. May 9-12.
- Siswosoebrotho, B.I. (2003). *Compaction and CBR strength characteristics of Karimun Island granite mixed with Suralaya pulverized fuel ash.* Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol.4, No. 4, pp 20-27
- Talib, N. Abdul. 2009. *Engineering Characteristics of Bottom Ash from Power Plant in Malaysia,* Universiti Teknologi Malaysia.
- Tribuana, N. 2002. *Pengolahan abu terbang batu bara PLTU.* Jakarta: Majalah Insinyur.
- tekMIRA (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batu Bara). 2010. *Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Batu Bara, Toksisitas Abu Terbang dan Abu Dasar Limbah PLTU Batu Bara yang Berada di Sumatera dan Kalimantan Secara Biologi.*
- Yoon, S., Balunaini, U., Yildirim, I .Z, Prezzi, M., and Siddiki, N. Z. 2009. *Construction of an Embankment with a Fly and Bottom Ash Mixture.* Journal of Materials in Civil Engineering: DOI 10.1061/ (ASCE) 0899-1561(2009)21:6(271).