

# Karakteristik Kimia, Fisis dan Mekanis Abu Dasar dalam Aplikasi Geoteknik

**Muhardi**

*Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau*

**Ferry Fatnanta**

*Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau*

**Mei Sarah Maharani**

*Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau*

**ABSTRAK:** Abu dasar adalah sisa hasil proses pembakaran batu bara yang berada pada dasar tungku, merupakan limbah. Perbedaan perlakuan terhadap batu bara membuat variasi kandungan dari abu batu bara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kimia dan fisis abu dasar untuk dimanfaatkan dalam aplikasi geoteknik dan melihat pengaruh terhadap pertambahan waktu pada 7, 28 dan 56 hari terhadap karakteristik mekanis. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan kimia yang berperan dalam reaksi pozzolan selama masa pemeraman. Hasil pengujian karakteristik fisis menunjukkan bahwa abu dasar memiliki kemiripan perilaku seperti pasir. Terjadi perubahan seperti pengurangan nilai permeabilitas, angka pori, dan indeks pemampatan seiring dengan bertambahnya waktu. Selain itu terjadi peningkatan waktu konsolidasi, sudut geser, kohesi, dan nilai CBR seiring dengan bertambahnya waktu pemeraman.

**Keywords:** abu dasar, pemeraman, reaksi pozzolan, aplikasi geoteknik, karakteristik 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 banyak digunakan sebagai bahan bakar dalam penghasil energi pada pembangkit tenaga listrik. Hasil pembakaran batu bara ini menghasilkan sisa pembakaran berupa abu yang dapat dikategorikan ke dalam dua bentuk, yaitu abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*).

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

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

Abu batu bara dapat mengakibatkan dampak lingkungan berupa polusi udara terhadap kehidupan sekitar. Oleh sebab itu diupayakan agar abu dasar dapat menjadi bahan yang berguna, antara lain pemanfaatan abu dasar dalam aplikasi geoteknik.

Berdasarkan penelitian Muhardi *et al* (2010) diketahui bahwa ukuran partikel abu dasar berdasarkan SEM (*Scanning Electron Microscopic*) bertambah seiring dengan bertambahnya masa pemeraman yaitu 0,

7, dan 28 hari akibat adanya reaksi pozzolan. Ramme dan Tharanyil (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 dari abu dasar, serta pengaruh perilaku mekanis abu dasar dalam geoteknik akibat adanya masa pemeraman selama 7, 28 dan 56 hari. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam aplikasi geoteknik serta mengurangi penggunaan lahan untuk penumpukan akhir abu dasar tersebut.

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Batu Bara

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 atau disebut pula batu bara coklat. 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*.

## 2.2 Abu Batu Bara

Abu batu bara merupakan bahan buangan padat sisa pembakaran batu bara yang dapat mengakibatkan dampak lingkungan berupa polusi udara (tekMIRA, 2010). Sisa dari pembakaran batu bara dapat dikategorikan ke dalam 2 bentuk, yaitu abu dasar dan abu terbang. Berdasarkan JCOAL (2008) dari pembakaran batu bara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu dan abu batu bara ini terdiri dari 5% - 15% abu dasar dan 85% - 95% abu terbang.

## 2.3 Abu Terbang

Abu terbang adalah abu yang dihasilkan dari transformasi, pelelehan atau gasifikasi dari material anorganik yang terkandung dalam batu bara (Molina dan Poole, 2004).

## 2.4 Abu Dasar

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.

## 2.5 Pemanfaatan Abu Dasar

Berdasarkan CIRCA (2010), secara umum abu dasar dapat digunakan seperti pasir dan kerikil sebagai material granular seperti lapisan *base* atau *subbase* pada jalan, agregat dalam beton dan aspal, material timbunan, pengontrol es dan salju, bahan dasar klinker semen, dan reklamasi.

## 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian karakteristik kimia, fisis dan mekanis. Pengujian kimia 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 dasar. Pengujian perilaku fisis meliputi analisa saringan, berat jenis, proktor dan kadar air. Perilaku mekanis meliputi pengujian geser langsung, triaksial, CBR dan konsolidasi dan juga pengujian perilaku fisis yaitu permeabilitas. Benda uji selanjutnya diuji sesuai dengan masa pemeraman yaitu 0, 7, 28, dan 56 hari.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Kimia Abu Dasar

Hasil pengujian serta perbandingan komposisi kimia abu dasar yang berasal dari PT. IKPP pada penelitian ini dan beberapa penelitian terdahulu dengan sumber abu dasar yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1.

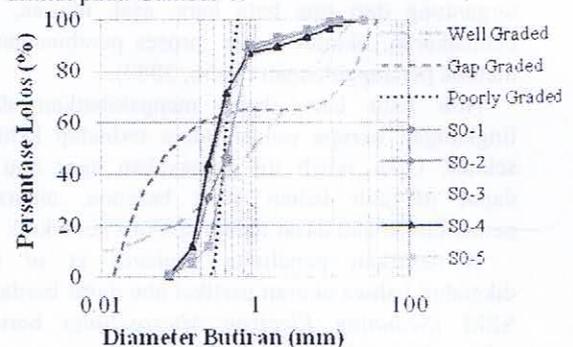
Tabel 1 menunjukkan komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam abu dasar. Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa abu dasar mengandung logam berat yaitu Fe dan Mn. Fe dan Mn termasuk dalam kategori logam berat karena massa jenisnya lebih besar dari  $5 \text{ gr/cm}^3$  yaitu  $7,87 \text{ gr/cm}^3$  dan  $7,44 \text{ gr/cm}^3$ , namun tidak bersifat racun. Dan pada hasil pengujian komposisi kimia tersebut 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 (tekMIRA, 2010) bahwa abu batu bara yaitu abu dasar dan abu terbang relatif tidak berbahaya bagi makhluk hidup.

Tabel 1. Perbandingan komposisi kimia abu dasar

Komposisi Kimia	Pando dan Hwang, (2006) (%)	Kasemchaisri dan Tanglersinikul, (2008) (%)	Abdullahi, (2009) (%)	Rifai (2009) (%)	Muhardi (2010) (%)	Hasil Uji (%)
$\text{SiO}_2$	30,83	38,64	50,15 - 54,7	63,67	42,7	58,79
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,2	21,15	5,2 - 7,3	13,43	23	20,33
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,95	11,96	6,7 - 18,34	11,41	17	9,78
$\text{CaO}$	56,02	13,83	3,18 - 11,21	5,46	9,8	3,17
$\text{K}_2\text{O}$	0,66	2,06	1,55 - 1,74	1,03	0,96	-
$\text{TiO}_2$	0,57	-	0,59 - 0,63	-	1,64	-
$\text{MgO}$	1,58	2,75	0,16 - 0,59	2,46	1,54	-
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,37	-	-	-	1,04	-
$\text{Na}_2\text{O}$	0,55	0,9	0,41 - 0,93	-	0,29	-
$\text{SO}_2$	12,82	0,61	0,14 - 0,9	-	1,22	-
$\text{BaO}$	0,27	-	-	-	0,19	-
LOI	-	7,24	10,89 - 13,42	0,84	-	-
$\text{SrO}$	0,15	-	-	-	-	-
$\text{Mn}_2\text{O}_3$	0,03	-	0,03 - 0,07	-	-	-

### 4.2 Karakteristik Fisis Abu Dasar

Secara visual abu dasar berwarna hitam keabu-abuan dan berbutir kasar. Kurva distribusi ukuran butiran abu dasar berdasarkan pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva distribusi ukuran butiran abu dasar PT. IKPP

Dari Gambar 1 terlihat bahwa kurva distribusi ukuran butiran abu dasar mendekati grafik pada tanah yang bergradasi buruk.

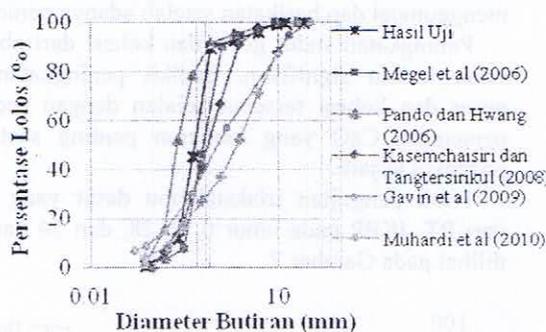
Hasil pengujian dan perbandingan koefisien gradasi, koefisien keseragaman dan klasifikasi abu dasar yang berasal dari PT. IKPP pada penelitian ini dan beberapa penelitian terdahulu dengan sumber abu dasar yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 2.

Abu dasar yang digunakan dalam penelitian ini merupakan abu dasar kering. Berdasarkan pengujian berat jenis abu dasar diperoleh nilai rata-rata berat jenis sebesar 2,27. Hal ini sesuai dengan Rammé dan Tharanyil (2006), dan Kim, *et al* (2006) yang menyatakan bahwa berat jenis abu dasar kering berturut-turut berkisar antara 2,1 - 2,7 dan 2,0 - 2,6.

Tabel 2. Perbandingan koefisien gradasi, koefisien keseragaman dan klasifikasi abu dasar

Peneliti	Koefisien Gradasi, $c_u$	Koefisien Keseragaman, $c_g$	Sistem Klasifikasi	Jenis
Megel <i>et al</i> (2006)	0,9	2,38	USCS	SP
Pando dan Hwang (2006)	0,99	2,61	USCS	SP
Kasemchaisiri dan Tangtersirikul (2008)	1,01	5,57	USCS	SP
Gavin <i>et al</i> (2009)	1,08	18	USCS AASHTO	SM-SW A-2-4
Muhardi <i>et al</i> (2010)	1,01	16,56	USCS AASHTO	SW A-1-a
Hasil Uji	0,72 - 0,89	2,25 - 3,38	USCS AASHTO	SP A-3

Perbandingan grafik distribusi ukuran butiran abu dasar dalam beberapa penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa penelitian ini memiliki kemiripan distribusi ukuran butiran dengan penelitian Megel *et al* (2006), Pando dan Hwang (2006) dan penelitian Kasemchaisiri dan Tangtersirikul (2008). Hasil penelitian tersebut dapat dikategorikan sebagai SP atau A-3.



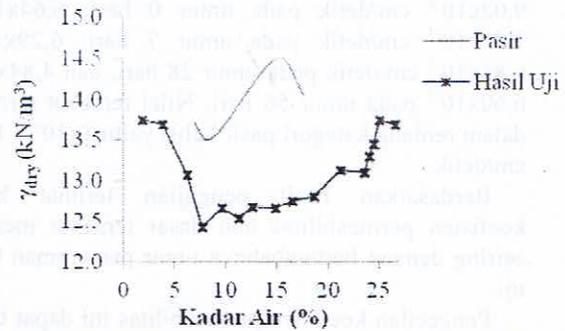
Gambar 2. Perbandingan kurva distribusi ukuran butiran abu dasar

Berdasarkan pengujian kadar air abu dasar diperoleh nilai rata-rata sebesar 0,14%. Kadar air abu dasar pada penelitian Talib (2010) menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada kadar air abu dasar PT. IKPP yaitu 17,5% – 20%. Hal tersebut terjadi karena

adanya perbedaan tipe abu dasar yang digunakan. Abdullahi (2010) dalam penelitiannya menggunakan abu dasar basah, sedangkan abu dasar dalam penelitian ini merupakan abu dasar kering.

### 4.3 Karakteristik Mekanis Abu Dasar

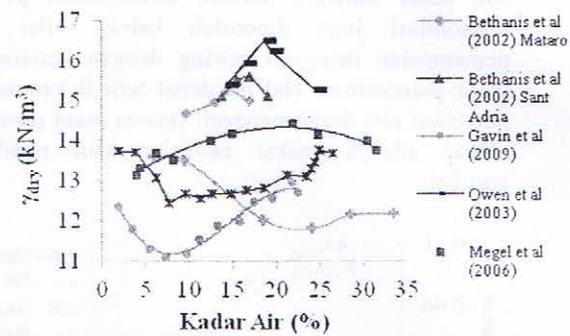
Perilaku pemadatan standar pada abu dasar PT. IKPP dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perilaku pemadatan standar abu dasar PT. IKPP

Berdasarkan Gambar 3 terlihat abu dasar dan pasir memiliki pola pemadatan yang hampir sama yaitu  $\gamma_{dry}$  pada umumnya cenderung menurun terlebih dahulu dengan naiknya kadar air sebelum kemudian naik kembali untuk mencapai nilai maksimum dengan penambahan air lebih lanjut. Menurut Das (1985), penurunan berat volume kering pada awal kurva pada pasir disebabkan karena pengaruh peristiwa kapiler pada tanah. 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 %.

Perbandingan kurva pemadatan abu dasar yang berasal dari PT. IKPP dan beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan kurva pemadatan abu dasar

Berdasarkan Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa abu dasar tidak memiliki tipe tertentu untuk menjelaskan perilakunya. Hasil penelitian Bethanis *et al* (2002), Owen *et al* (2003) dan Megel *et al* (2006) dapat dikategorikan berpuncak satu. Sedangkan penelitian Gavin *et al* (2009), Muhardi *et al*

(2010) dan hasil pengujian dapat dikategorikan berpuncak satu setengah. Perbedaan perilaku pemadatan tersebut sejalan dengan perbedaan kandungan kimia, distribusi ukuran butiran, berat jenis, dan jenis abu dasar yang digunakan pada setiap penelitian.

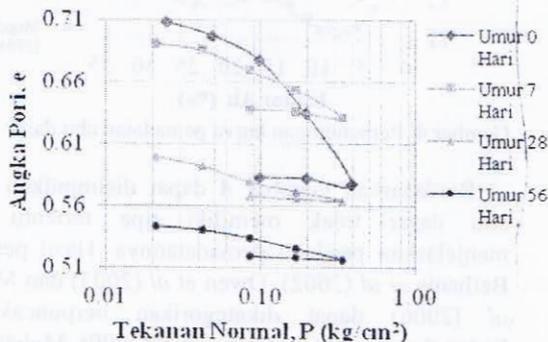
Berdasarkan pengujian permeabilitas abu dasar PT. Indah Kiat *Pulp and Paper* berkisar antara  $6,97 \times 10^{-3}$  -  $9,02 \times 10^{-3}$  cm/detik pada umur 0 hari;  $6,64 \times 10^{-3}$  -  $7,89 \times 10^{-3}$  cm/detik pada umur 7 hari;  $6,29 \times 10^{-3}$  -  $6,85 \times 10^{-3}$  cm/detik pada umur 28 hari, dan  $4,84 \times 10^{-3}$  -  $6,60 \times 10^{-3}$  pada umur 56 hari. Nilai tersebut termasuk dalam rentang kategori pasir halus yaitu  $1 \times 10^{-3}$  -  $1 \times 10^{-2}$  cm/detik.

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa koefisien permeabilitas abu dasar tersebut mengecil seiring dengan bertambahnya umur pemeraman benda uji.

Pengecilan koefisien permeabilitas ini dapat terjadi akibat adanya reaksi pozzolan yang terjadi antara  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan  $\text{CaO}$  yang terkandung dalam 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 dasar mengecil dan memperlambat laju aliran air melalui pori-porinya.

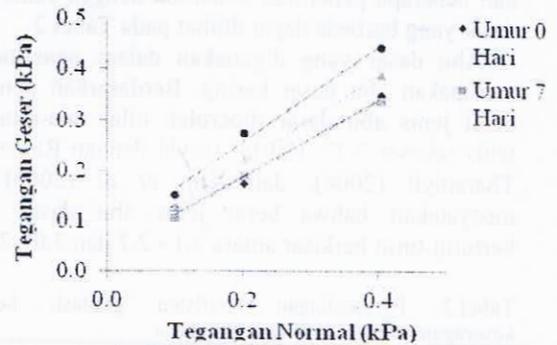
Perilaku konsolidasi abu dasar PT. IKPP pada umur 0, 7, 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa angka pori awal abu dasar secara umum berkurang seiring dengan bertambahnya umur pemeraman. Pengecilan angka pori awal 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 dasar mengecil selama masa pemeraman akibat adanya reaksi pozzolan dan pembesaran partikel.



Gambar 5. Perilaku konsolidasi abu dasar PT. IKPP

Grafik hubungan antara tegangan normal terhadap tegangan geser abu dasar dari pengujian geser langsung pada umur 0, 7, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.



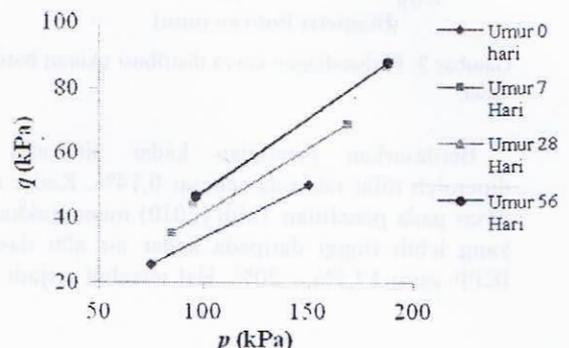
Gambar 6. Grafik hasil pengujian geser langsung abu dasar PT. IKPP

Pada Gambar 6 terlihat bahwa sudut geser dan kohesi abu dasar menunjukkan peningkatan sesuai dengan bertambahnya umur pemeraman.

Peningkatan sudut geser abu dasar pada penelitian ini dapat disebabkan oleh adanya pembesaran partikel selama masa pemeraman benda uji. Pembesaran partikel tersebut membuat bidang kontak antar butiran 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 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 dasar tidak terlalu signifikan. Sedikit peningkatan sudut geser dan kohesi tersebut sejalan dengan sedikitnya persentase  $\text{CaO}$  yang berperan penting saat reaksi pozzolan terjadi.

Hasil pengujian triaksial abu dasar yang berasal dari PT. IKPP pada umur 0, 7, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 7.

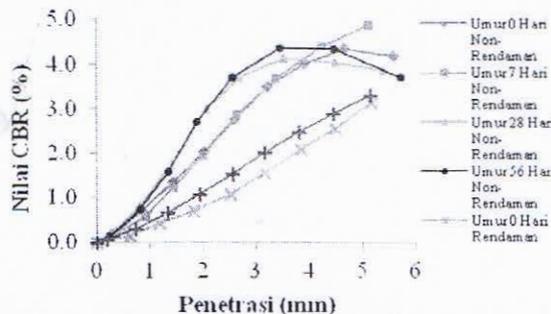


Gambar 7. Grafik hasil pengujian triaksial abu dasar PT. IKPP

Berdasarkan Gambar 7 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 dasar PT. IKPP dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8 diperoleh Nilai CBR abu dasar pada umumnya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur pemeraman khususnya pada penetrasi 0,1 inci. Peningkatan nilai CBR 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 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.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian CBR non-rendaman dan CBR rendaman abu dasar PT. IKPP

Berdasarkan Gambar 8 juga terlihat bahwa kekuatan abu dasar pada penetrasi 0,2" berkurang kembali 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 sangat kecil yaitu 3,17%. Sehingga reaksi pozzolan yang terjadi pun lebih sedikit dan lemah.

## 5 DAFTAR PUSTAKA

- Anam, A. 2008. *Dimethyl Ether (DME) dari Batu Bara sebagai Bahan Bakar Gas Alternatif Selain LPG*. Balai Besar Teknologi Energi: Tangerang.
- Abdulah, M. Muazu. 2009. *Municipal Solid Waste Inceneration Bottom Ash as Road Construction Material*. Minna: Federal University of Technology, Civil Engineering Department.
- CIRCA. 2010. *Origin and Applications of Bottom Ash*. Association of Canadian Industries Recycling Coal Ash: Canada.
- 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 Tangtersirikul, S. 2008. *Properties of Self-Compacting Concrete in Corporation Bottom Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate*.
- Megel, Anthony, J., Parker, David, B., Mitra, Rana., Sweeten, John, M. 2006. *Assessment of Chemical and Physical Characteristics of Bottom, Cyclone, and Baghouse Ashes from The Combustion of Manure*. Portland: ASABE Annual International Meeting.
- 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, Bundle K.Owen, Thomas D., LaBuz, Lawrence L., Beadle, John F.,
- Williams, Davis A., Berger, James D., dan Killian, Terry D. 2003. *Engineering Practices of Coal Ash Placement*.
- Pando, Miguel., Sangchul, Hwang, Guadalupe, Yaurel., Reyes, Arlene., 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.
- Talib, N. Abdul. 2009. *Engineering Characteristics of Bottom Ash from Power Plant in Malaysia*. Universiti Teknologi Malaysia.
- 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*.