

UJI ABU TERBANG PLTU ASAM ASAM SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN BATA RINGAN

Ninis Hadi Haryanti¹

ABSTRAK. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah pembakaran batubara pada PLTU yaitu Abu Terbang (*Fly Ash*) untuk pembuatan beton bata ringan nonstruktur. Telah dilakukan uji terhadap abu terbang dari limbah batubara yang digunakan pada PLTU Asam asam dengan hasil kandungan silika relatif tinggi (74,2% SiO₂) sedangkan alumina tidak terlalu tinggi (5,7% Al₂O₃), dan Fe₂O₃ sekitar 14,4%. Kandungan logam alkali (2,4% CaO dan 2,03% MgO) mendukung pembentukan ikatan material aluminosilikat. Karena kandungan CaO sekitar 2,4%, maka abu ini termasuk abu terbang kualitas ASTM kelas F. Abu terbang kelas F ini kadar kapurnya rendah (CaO < 10%), cocok berfungsi sebagai bahan *low/ultra-low cement castable refractory* yang tahan suhu tinggi. Komposisi kimia limbah abu terbang PLTU Asam asam Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa kadar Al₂O₃ yaitu Al₂O₃ : SiO₂ = 5,7% : 74,2% atau nilai Al₂O₃/SiO₂ = 0,076819, yang berarti kadar alumina sangat kecil dibandingkan dengan silikanya. Dari hasil tersebut terlihat bahwa fly ash yang digunakan termasuk dalam kategori *fly ash* tipe F (*ACI Manual of Concrete Practice* 1993 Part 1 226.3R-3), dengan kadar SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ lebih dari 70% dan sesuai dengan syarat SNI 03-2460-1991. *Fly ash* kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*. Oleh karena itu, limbah abu terbang PLTU Asam asam dapat digunakan sebagai bahan campuran (sebagai agregat) pembuatan bata ringan.

Kata kunci: abu terbang, bata ringan, komposisi kimia abu terbang

PENDAHULUAN

Batubara banyak digunakan oleh industri dan Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan kukus (*steam*) sebagai media pemanas atau pembangkit listrik. Dari pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*), di mana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* (abu dasar) dan sekitar 80-90% *fly ash* (abu terbang) dari total abu yang dihasilkan. Abu

terbang adalah limbah batubara yang sangat halus, terbawa keluar dari tungku pembakaran bersama gas buangan yang lain. *Fly ash* berisi 70-80% dari batubara (*coal ash*), dan sisanya menjadi *bottom ash*. (<http://www.mountain-plain.org,2006>).

Menurut Asisten Teknik Operasional PLTU Asam-asam (2013), tumpukan abu batubara hasil pembakaran dua pembangkit PLTU Asam-asam, Kabupaten Tanah Laut mencapai 130.000 ton. Jumlah ini akan

¹Program Studi Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat

terus bertambah mengingat produksi perhari abu batubara mencapai 60 ton dari penggunaan 4.400 ton batubara untuk pembangkit unit 1 dan 2. Terlebih saat ini PLN Wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah tersebut, mulai mengoperasikan PLTU unit 3 dan 4 berkapasitas 130 megawatt, dengan jumlah limbah abu terbang yang dihasilkan 60 ton perhari. Jika limbah abu ini tidak ditangani akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang.

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini pada umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Abu terbang biasanya banyak dimanfaatkan dalam perusahaan industri karena abu terbang ini mempunyai sifat pozolanik, sedangkan untuk abu dasar sangat sedikit pemanfaatannya dan biasanya digunakan sebagai material pengisi

(Aziz, 2006). Abu terbang dapat digunakan sebagai mineral filler karena ukuran partikel yang sangat lembut sehingga dapat sebagai pengisi rongga dan sebagai pengikat antar agregat. Bahan campuran substitusi semen dan abu terbang kini banyak dibutuhkan. Hal ini disebabkan bahan campuran semen yang berasal dari abu bekas pembakaran batubara mempunyai keunggulan daya lekat yang kuat karena mengandung silika dan alumina dengan kadar kapur yang rendah. Selain itu abu terbang digunakan sebagai bahan tambahan dalam komposisi material pembuatan batako, *conblock*, bata rejal, *paving block*, panel dinding, beton *casting*, *paving block* dan batako serta *ready mix* (*concrete* beton).

Komposisi abu terbang dalam campuran pembuatan bahan bangunan dipakai sekitar 20% (Pelaihari, 2007). *Fly ash* dimanfaatkan sebagai pengganti Semen Portland, batu bata beton ringan, material konstruksi jalan, material pekerjaan tanah (Wardani, 2008). Selain itu *Fly Ash* juga dimanfaatkan sebagai bahan baku keramik, refraktori, bahan penggosok (polisher) filler aspal, bahan baku semen aditif dalam pengolahan limbah, adsorben (Acosta, 2009), filler di

aluminium alloy dan pozolana di beton (Aggarwal, 2010).

Dengan semakin meningkatnya volume limbah abu terbang batubara, hal ini akan menjadi masalah lingkungan yang besar. Berdasarkan observasi di lapangan, hamparan limbah batubara di PLTU Asam-asam akan direklamasi untuk masa yang akan datang. Sejalan dengan perkembangan pembangunan di Kalimantan Selatan, kebutuhan bahan bangunan khususnya bata ringan juga semakin meningkat. Sementara itu, limbah abu terbang batubara yang dibuang oleh PLTU Asam-asam sebenarnya mempunyai potensi digunakan untuk campuran bahan bangunan tersebut. Dengan banyaknya limbah abu terbang batubara serta kebutuhan bata ringan, kondisi ini memberikan upaya penelitian yaitu dengan memanfaatkan abu terbang untuk bahan pembuatan bata ringan.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah memanfaatkan limbah pembakaran batubara dari PLTU Asam Asam Kalimantan Selatan yaitu Abu Terbang untuk pembuatan beton bata ringan nonstruktural.

Pemanfaatan abu terbang untuk pembuatan bata ringan ini, diharapkan dapat menjadi sumber informasi mengenai karakteristik bata ringan

yang memanfaatkan abu terbang limbah industri PLTU yang dianggap kurang bermanfaat.

TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik Abu Terbang

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatik precipitator. Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). Faktor-faktor utama yang mempengaruhi kandungan mineral *fly ash* (abu terbang) batubara adalah: (a). Komposisi kimia batubara, (b). Proses pembakaran batubara, (c). Bahan tambahan yang digunakan termasuk bahan tambahan minyak untuk stabilisasi nyala api dan bahan tambahan untuk pengendalian korosi. Dari sejumlah abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran batubara, maka sebanyak 55% - 85 % berupa abu terbang (*fly Ash*) dan sisanya berupa abu dasar (*Bottom Ash*). Kedua jenis abu ini memiliki perbedaan karakteristik serta pemanfaatannya.

Abu terbang banyak dimanfaatkan dalam perusahaan industri karena abu terbang ini

mempunyai sifat pozolanik, sedangkan abu dasar sangat sedikit pemanfaatannya dan biasanya digunakan sebagai material pengisi (Aziz, 2006). Adapun karakteristik abu terbang:

- a. Dari segi gradasinya, jumlah prosentase yang lolos dari saringan No. 200 (0,074 mm) berkisar antara 60% sampai 90%.
- b. Warna dari abu terbang dapat bervariasi dari abu-abu sampai hitam tergantung dari jumlah kandungan karbonnya, semakin terang semakin rendah kandungan karbonnya.
- c. Abu terbang bersifat tahan air (*hydrophobic*).
- d. Komponen utama abu terbang adalah silikon (Si), aluminium (Al), besi (Fe) dan kalsium (Ca) dengan variasi kandungan karbon.

Sifat-sifat Abu Terbang

Abu terbang mempunyai sifat-sifat yang sangat menguntungkan di dalam menunjang pemanfaatannya yaitu :

1) Sifat Fisik

Abu terbang merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh

komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m²/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain: (a) Warna: abu-abu keputihan, (b) Ukuran butir: sangat halus yaitu sekitar 88 %.

2) Sifat Kimia

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃), dan kalsium oksida (CaO), sisanya adalah karbon, magnesium, dan belerang. Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya.

Pembakaran batubara lignit dan sub/bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Abu terbang batubara terdiri dari

butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100-3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170-1000 m²/kg.

Tabel. Komposisi kimia abu terbang batubara

Komponen	Bituminous (%)	Sub-bituminous (%)	Lignite (%)
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

Sumber: Wardani, Sri Prabandiyani Retno. 2008.

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

penting diketahui, bahwa tidak semua *fly ash* dapat memenuhi persyaratan ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi.

Fly ash kelas F merupakan *fly ash* yang diproduksi dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous, mempunyai sifat pozzolanic dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. *Fly ash*

kelas F ini kadar kapurnya rendah ($\text{CaO} < 10\%$).

Fly ash kelas C diproduksi dari pembakaran batubara lignite atau sub-bituminous selain mempunyai sifat pozolanic juga mempunyai sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah strength apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. Biasanya mengandung kapur (CaO) > 20%. (Mulyono, 2005).

Beton Ringan

Teknologi material bahan bangunan berkembang terus diantaranya adalah pengembangan beton ringan. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (*density*) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Beton ringan disebut juga sebagai beton ringan aerasi ALC (*Aerated Lightweight Concrete*) atau sering disebut juga AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*). Sebutan lainnya adalah *Autoclaved Concrete*, *Cellular Concrete* (semen dengan cairan kimia penghasil gelembung udara), *Porous Concrete*, dan di Inggris disebut *Aircrete and Thermalite*. Tidak seperti beton biasa, berat beton ringan dapat diatur sesuai kebutuhan. Pada umumnya berat beton ringan berkisar

antara 600 – 1600 kg/m³. Karena itu keunggulan beton ringan utamanya ada pada berat, sehingga apabila digunakan pada proyek bangunan tinggi secara signifikan dapat mengurangi berat bangunan itu sendiri.

Yothin Ungkoon, et. al (2007) menganalisis tentang material mikrostruktur beton ringan aerasi (*autoclaved aerated concrete*) pada konstruksi dinding dengan menggunakan optikal mikroskop dan scanning electron mikroskopis (SEM). Pengujian dilakukan dengan membandingkan dinding menggunakan AAC dan dinding biasa. Dinding AAC memberikan hasil kuat tekan lebih besar dan sifat ketahanan terhadap panas yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat kuantitatif yang dilakukan di PT. Geoservices Banjarbaru Kalimantan Selatan dengan bahan abu terbang dari PLTU Asam asam, serta menggunakan alat/metode analisis kimia dengan AAS.

HASIL PENELITIAN

Abu terbang PLTU Asam-asam berupa tepung halus berwarna abu-abu tua kehitaman. Secara umum komposisi komponen abu terbang

PLTU di seluruh dunia relatif sama, yang berbeda adalah persentase kandungan senyawa kimianya sesuai dengan jenis batubara yang dipakai (Aziz dan Ardha, 2006). Komponen mineral utama abu terbang adalah aluminosilikat, besi oksida, silikat densitas rendah (cenosphere) dan sisa karbon, serta kemungkinan adanya mineral mullite. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) adalah mineral alumina silikat yang tahan terhadap suhu tinggi hingga sekitar 1875°C , tetapi karena masih ada mineral kuarsa kemungkinan ketahanan terhadap suhu akan berkurang. Partikel - partikelnya berbentuk membulat. Cenosphere berasal dari senyawa alkali silikat yang telah mengalami pembakaran suhu

tinggi, yaitu saat alkali meleleh, posisi alkali digantikan oleh udara, sehingga membentuk partikel bulat dengan lubang di dalamnya (densitas rendah).

Hasil uji komposisi kimia abu terbang PLTU Asam-asam ditunjukkan pada Tabel 2. Kandungan silika relatif tinggi ($74,2\% \text{SiO}_2$), alumina tidak terlalu tinggi ($5,7\% \text{Al}_2\text{O}_3$), dan Fe_2O_3 sekitar $14,4\%$. Sebagai perbandingan abu terbang PLTU Suralaya mengandung silika sedikit lebih rendah ($73\% \text{SiO}_2$), aluminanya lebih tinggi yaitu $11\% \text{Al}_2\text{O}_3$, dan Fe_2O_3 jauh lebih rendah yaitu sekitar 6% (Aziz dan Ardha, 2006). Dari perbandingan tersebut terlihat ada korelasi rendahnya kandungan besi dengan tingginya kandungan SiO_2 atau sebaliknya.

Tabel 2. Komposisi kimia abu terbang PLTU Asam-asam, Kalimantan Selatan

Uraian	Prosentase
SiO_2	74,20
Al_2O_3	5,70
Fe_2O_3	14,40
CaO	2,40
MgO	2,03
Na_2O	0,06
TiO_2	0,47
P_2O_5	0,051
K ₂ O	0,260
Mn_3O_4	0,160
SO_3	-

Sumber: Hasil Uji di Laboratorium PT Geoservices Banjarbaru Kalimantan Selatan

Kandungan logam alkali ($2,4\% \text{CaO}$ dan $2,03\% \text{MgO}$) mendukung

pembentukan ikatan material aluminosilikat. Kandungan mineral

besi (14,4% Fe_2O_3) berupa magnetit, jika mungkin dapat dipisahkan dengan magnetic separator sepanjang tidak menurunkan kandungan alumina dan SiO_2 nya. Karena kandungan CaO sekitar 2,4%, maka abu ini termasuk abu terbang kualitas ASTM kelas F. Abu terbang kelas F: merupakan abu terbang yang diproduksi dari pembakaran batubara *anthracite* atau

bituminous, mempunyai sifat pozzolanic dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* harus diberi penambahan semen. Abu terbang kelas F ini kadar kapurnya rendah ($\text{CaO} < 10\%$), cocok berfungsi sebagai bahan *low/ultra-low cement castable refractory* yang tahan suhu tinggi. Adapun syarat abu terbang menurut SNI 03-2460-1991 ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Syarat *fly ash* SNI 03-2460-1991

No.	Senyawa	Kadar (%)
1	Jumlah oksida $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ Minimum	70,0
2	SO_3 maks	6,0
3	Hilang pijar maks	5,0
4	Kadar air maks	3,0
5	Total alkali dihitung sebagai Na_3O maks	1,5

Komposisi kimia limbah abu terbang PLTU Asam asam Kalimantan Selatan seperti terlihat pada Tabel 2. menunjukkan bahwa kadar Al_2O_3 yaitu $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 5,7\% : 74,2\%$ atau nilai $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 0,076819$, yang berarti kadar alumina sangat kecil dibandingkan dengan silikanya. Tabel 3 menunjukkan *fly ash* yang digunakan termasuk dalam kategori *fly ash* tipe F (ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 Part 1 226.3R-3), dengan kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70% dan sesuai dengan syarat SNI 03-2460-1991. *Fly ash* kelas F disebut

juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*. Oleh karena itu, limbah abu terbang PLTU Asam asam dapat digunakan sebagai bahan campuran (sebagai agregat) pembuatan bata ringan.

KESIMPULAN

Abu terbang PLTU Asam Asam mempunyai kandungan silika relatif tinggi (74,2% SiO_2) dan alumina tidak terlalu tinggi (5,7% Al_2O_3), serta Fe_2O_3 sekitar 14,4%. Disamping itu kandungan kadar kapur yang rendah

(CaO sekitar 2,4%), maka abu terbang tersebut termasuk *Fly ash* kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*. Oleh karena itu, limbah abu terbang PLTU Asam asam dapat digunakan sebagai bahan campuran (sebagai agregat) pembuatan bata ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta, Dafi.2009. Pemanfaatan Fly Ash(Abu Terbang) Dari Pembakaran Batubara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor.
- Aggarwal, Vanita dkk.2010. Concrete Durability through High Volume Fly Ash Concrete (HVFC) a Literature review. International Journal of Engineering Science and Techgies vol 2
- Antono, A. 1995. Teknologi beton. Penerbit Universitas Atma Jaya, Yogyakarta
- ASTM C618-94a,1994, Standart Test methods for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as A Mineral Amixture in Porland Cement Concrete, USA.
- Aziz.,M; Ardha.,N. 2006. Karakterisasi abu terbang PLTU Suralaya dan evaluasinya untuk refraktori cor, Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, no.36, Tahun 14, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, ISSN 0854-7890.
- Aziz., Muchtar, Ngurah Ardha. 2006. Percobaan Pendahuluan Pembuatan Refraktori Cor dari Abu Terbang Suralaya. www.tekmira.esdm.go.id. Di akses pada tanggal 27 Februari 2011.
- Aziz.,M. 2012. Karakterisasi Mineral Ampas Serta Evaluasinya Untuk Pembuatan Material Geopolimer Bangunan, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara "tek-MIRA" Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah (Journal of Waste Management Technology), ISSN 1410-9565 Volume 15 Nomor 1, Juli 2012 (Volume 15, Number 1, July, 2012) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (Radioactive Waste Technology Center)
- Chandra, 2005, Toksisitas Abu terbang Dan Abu Dasar Limbah PLTU Batubara, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, wm@tekmira.esdm.go.id
- Coal FlyAsh://http://www.tfhrc.gov/hnr20/redy/waste/cfa51.htm
- Cripwell, J.B, 1992, Pulveriszed – Fuel Ash: Understanding The Material, National Seminar The use of PFA in construction, Concrete Technology Unit, Department of Civil Engineering, University of Dundee.
- Fly Ash: http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash
- Fly Ash Powder: http://www.rmajko.com/Flyash.html/
- Genowefa Zapotoczna, et. al. 2011. Autoclaved Aerated Concrete

Properties on the basis of current research results conducted by ICiMB - Research and Development Center for Cellular Concrete Industry CEBET and Building Research Institute. Handbook for AAC producers and users. Magazine of Concrete Producers Association. 5 Interantional Conference of Autoclaved Aerated Concrete.

<http://kompas.com/kompas-cetak/0707/02/opini/3644225.htm>

http://portal.djmbp.esdm.go.id/sijh/SNI%2013-4726_1998_Klasifikasi%20Sumberdaya%20Mineral%20dan%20Cadaangan.pdf

<http://www.bgl.esdm.go.id/dmdocuments/jurnal20080306.pdf>

<http://www.mountain-plain.org,2006>

http://www.pssda.org/pdf/spek_insdal1d.pdf

<http://www.tekmira.esdm.go.id/HasilLitbang/>

<http://www.tekmira.esdm.go.id/kp/PengolahanMineral/pemanfaatanlimbah.asp>

<http://b3.menlh.go.id/s/phpad,2009>

<http://www.erasuslim.com/konsultasi/arsitektur/penggunaan-bata-celcon.htm>

<http://www.ilustri.org/>

<http://indograha.co.id/>

<http://www.pu.go.id/>

Improving freezing and thawing properties of Fly Ash Bricks: <http://www.flyash.info/2005/20liu.pdf>

Khairunisa, 2007, Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara, Jurnal Ilmiah

Mulyono, T. 2005. Teknologi Beton. Penerbit Andi. Yogyakarta.

Nugraha, P dan Antoni. 2007. Teknologi beton, dari material, pembuatan, ke beton kinerja tinggi. Penerbit Andi Yogyakarta dan LPPM Universitas Kristen Petra.

Pelaihari, 2007, Fly Ash sebagai Substitusi Semen, Puslitbang Teknologi Mineral dalam Batubara.

Suyartono. 2004. Hidup dengan Batubara (Dari Kebijakan hingga Pemanfaatan), No: 001/IX/2001, ISBN: 979-96649-0-X

Tjokrodimulyo, K. 2007. Teknologi beton. Biro Penerbit KMTS FT UGM. Yogyakarta.

Wang, B., Panigrahi, S., Tabil, L., Crerar, W.J., Powell, T., Kolybaba, M., and Sokhansanj, S. 2003. Flax Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites. Journal The Society for Eng. In Agricultural, Food, and Biological Systems, Dep. of Agricultural and Bioresource Eng. Univ. of Saskatchewan., Canada.

Wardani, Sri Prabandiyani Retno. 2008. Pemanfaatan limbah batubara (Fly Ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya

dalam mengurangi pencemaran lingkungan. Jurnal: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Yothin Ungkoon, et. al. 2007. Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved Aerated Concrete

Wall Construction Materials. J. Ind. Eng. Chem., Vol. 13, No. 7, (2007) 1103-1108. Received July 11, 2007; Accepted November 9, 2007.