

PEMANFAATAN *FLY ASH* BATU BARA UNTUK KEBUTUHAN RANTAI PASOK BAHAN KONSTRUKSI

Ali Amal

Nomor Ang. B-03112

Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI)

Jl. Darmawangsa Raya No.125 Kec. Kebayoran Baru Jakarta Selatan

Email: ali.amal63@yahoo.co.id

ABSTRACT

Coal burning process produces two types of waste, namely fly ash and bottom ash. Fly ash, generated from coal combustion, is classified into several types, that is Type F, Type C, and Type N, based on their CaO content. Large-scale coal combustion results in significant waste production. However, awareness about alternative construction materials derived from these wastes is limited, hindering their utilization. This research aims to analyze the potential benefits of alternative uses for fly ash waste in civil construction based on various studies. Research findings indicate that fly ash contains high levels of silica, making it suitable as a substitute for cement and a binder through alkali reaction. With proper planning, fly ash and bottom ash can be combined in geopolymers, reducing carbon dioxide emissions in cement production and minimizing natural resource exploration. This makes them viable alternative materials for the construction material supply chain in Indonesia, following an environmentally friendly approach.

Keyword : *Fly Ash, Bottom Ash, Geopolymer, Cement*

ABSTRAK

Pembakaran batu bara menghasilkan dua jenis limbah yaitu abu ringan (*Fly Ash*) dan abu berat (*Bottom Ash*). *Fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dibedakan atas beberapa tipe, yaitu Tipe F, Tipe C, dan Tipe N yang di golongankan dari kadar CaO yang terkandung di dalamnya. Jumlah pembakaran batu bara yang besar mengakibatkan produksi limbah yang besar pula. Pengetahuan akan alternatif bahan konstruksi dari limbah ini belum dikenal secara luas sehingga pemanfaatan atas limbah ini semakin terhambat. Dalam kajian penelitian ini bertujuan untuk mengurai hasil analisa manfaat alternatif limbah *fly ash* yang dapat di terapkan di bidang konstruksi sipil berdasarkan beberapa penelitian. Hasil kajian penelitian limbah *fly ash* menunjukkan bahwa *fly ash* mengandung Silika yang tinggi sehingga dapat di dimanfaatkan sebagai pengganti semen dan menjadi binder melalui reaksi dengan alkali dengan perencanaan yang tepat *fly ash* dan *bottom ash* dapat di kombinasikan dalam campuran beton geopolimer yang dapat mereduksi emisi karbon dioksida pada pemeroduksian semen dan mengurangi pengeksplorasian alam menjadikan bahan material alternatif untuk kebutuhan rantai pasok material bahan konstruksi Indonesia dengan konsep ramah lingkungan.

Kata Kunci : *Fly Ash, Bottom Ash, Geopolimer, Semen*

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang paling diandalkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dalam pengoperasiannya, PLTU bekerja dengan menggunakan bahan bakar Hydro, Geothermal, HSD, MFO, Gas, LNG dan Batu Bara. Penggunaan batu bara sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik mencapai 53% dari total bahan bahan bakar yang di gunakan secara keseluruhan. Di perkirakan pada tahun 2022, penggunaan batu bara sebagai pembangkit listrik akan mengalami peningkatan hingga mencapai 66% (Prahasto, T., dan Sugiyanto, 2007). Jumlah pembakaran batu bara yang besar juga akan mengakibatkan produksi limbah yang besar pula. Pembakaran batu bara menghasilkan dua jenis limbah yaitu abu ringan (*Fly Ash*) dan abu berat (*Bottom Ash*). Abu terbang (*Fly Ash*) merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap, sehingga limbah ini membutuhkan penanganan yang lebih kompleks menghindari pencemaran lingkungan disekitarnya. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengkaji

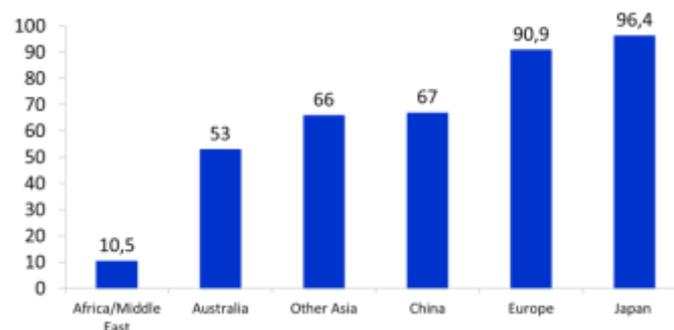
karakteristik dan pemanfaatan *fly ash* yang dapat memenuhi kinerja mutu bermanfaat sebagai bahan alternatif yang diterapkan di bidang konstruksi sipil

a. *Fly Ash*

Fly ash (abu terbang) adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus. Abu yang tidak naik disebut *bottom ash*. Dalam dunia industri, *fly ash* biasanya mengacu pada abu yang dihasilkan selama pembakaran batubara.

b. Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* di Beberapa Negara

Di beberapa negara maju, *fly ash* sebagai material olahan konstruksi telah di manfaatkan secara efektif dapat dilihat pada Gambar Grafik 1 berikut ini:

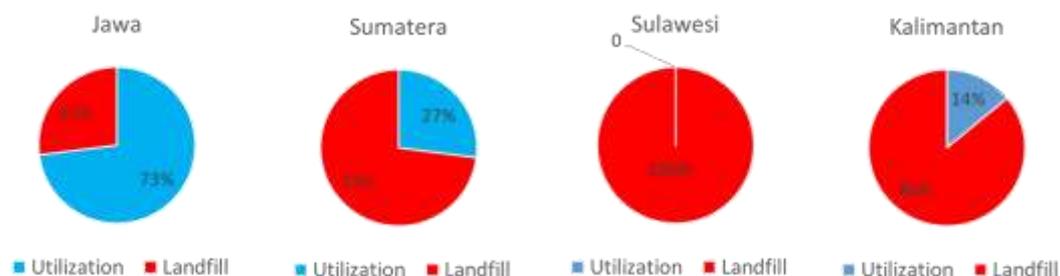


Gambar 1. Grafik Laju Pemanfaatan *Fly ash* dan *Bottom ash* di beberapa Negara/Benua tahun 2010 (Sumber : Yao,Z.,dkk,2015)

Berdasarkan Gambar 1, grafik diatas menunjukkan survei yang dilakukan pada tahun 2010 tentang pemanfaatan *fly ash* maupun *bottom ash* beberapa Negara/Benua menunjukkan bahwa negara Eropa dan Jepang telah memanfaatkan limbah industri mereka dengan menerapkan suatu sistem pengolahan limbah yang berkelanjutan sehingga pemanfaatan sumber mineral yang dilakukan mengurangi dampak negatif yang merusak dari limbah bagi lingkungan.

c. Pemanfaatan *Fly Ash* Batu Bara di Indonesia

Berdasarkan data pemanfaatan *fly ash* dari kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia, tahun 2015 menunjukkan pemanfaatan *fly ash* batu bara maupun *bottom ash* di Indonesia hingga saat ini masih di bawah 10%. Pulau Jawa yang melakukan pemanfaatan yang cukup signifikan terhadap penggunaan *fly ash* sebesar 73%, kemudian disusul oleh Sumatera 27 % dan Kalimantan 14 %. Sementara di Sulawesi pemanfaatan *fly ash* belum sama sekali di laksanakan.



Gambar 2. Grafik Pemanfaatan *Fly ash* dan *Bottom ash* di Indonesia (Sumber : KLHK, 2015)

d. Tipe-tipe *Fly Ash*

Fly ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI Manual of Concrete Practice,1993), yaitu :

a. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda). *Fly ash* kelas C disebut juga *high-calcium fly ash*. Hal ini dikarenakan kandungan CaO dalam *fly ash* yang cukup tinggi, *fly ash* tipe C mempunyai sifat *cementitious* selain juga sifat *pozzolan* sehingga jika terkena air atau kelembaban, akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit.

b. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara.

1. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%.
2. Kadar CaO < 10% (ASTM 20%, CSA 8%)
3. Kadar karbon (C) berkisar antara 5% - 10%
4. Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari berat binder/pengikat.

c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz*, *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran.

e. Kandungan, Senyawa dan Sifat *Fly Ash*

Fly ash terutama terdiri atas senyawa *silicate glass* yang mengandung silika (Si), alumina (Al), ferrum (Fe), dan kalsium (Ca). Kandungan kecil senyawa lain yang terdapat dalam *fly ash* adalah magnesium (Mg), sulfur (S), sodium (Na), potassium (P), dan karbon (C).

Tabel 1. Kadar senyawa penyusun *fly ash*

Komposisi			
No	Chemical Comositions	FBC FA (wt%)	PCC FA (wt%)
1	SiO ₂	47.1	36.1
2	Al ₂ O ₃	22.6	25.0
3	Fe ₂ O ₃	8.9	12.0
4	CaO	8.2	16.4
5	MgO	2.7	2.2
6	K ₂ O	1.5	2.6
7	Na ₂ O	1.0	1.6
8	SO ₃	2.3	3.3
9	LOI	5.7	0.8

(sumber : Chauhan, A. and Chauhan, P. 2013)

Fly ash batu bara memiliki kemampuan dapat menyerap air dan beberapa unsur hara sehingga dapat meningkatkan kualitas adsorpsi dengan baik (geology.com.cn, dalam Rilham, 2012). Selain itu *fly ash* batu bara juga dapat digunakan sebagai adsorben berbagai macam zat-zat polutan seperti SO_x, CO, dan partikulat debu termasuk timbal (Pb). *Fly ash* batu bara juga digunakan dalam bahan cetakan pada industri pengecoran logam karena memiliki ukuran butir jauh lebih kecil daripada pasir cetak sehingga saat dibuat cetakan akan menghasilkan permukaan yang lebih halus (Prahasto dan Sugiyanto, 2007).

f. Pemanfaatan untuk Geopolimer

Beton geopolimer berbasis *fly ash* menunjukkan metode pencampuran kering Geopolimer adalah material baru tahan api dan panas, pelapis dan perekat, aplikasi obat, keramik suhu tinggi, pengikat baru untuk komposit serat tahan api, beracun dan radioaktif enkapsulasi limbah, dan semen baru untuk beton. (Davidovits, 1991). Bentuk pemanfaatannya misalnya bahan untuk perkerasan jalan raya dan bandara (paving dan perkerasan kaku), elemen bangunan (kolom, balok, dan lantai) dan bahan pracetak, bahan nonstruktural (pagar panel beton, buis beton, batako, gorong-gorong), beton pemecah gelombang, bantalan rel kereta api, bahan grouting (pelapis), imobilisasi racun, pelindung api, karat dan ledakan, beton ringan, stabilisasi tanah, agregat buatan.

g. Pemanfaatan untuk Konstruksi Perkerasan Kaku

Telah diketahui dengan baik bahwa dua kelas abu terbang (*fly Ash*) dapat memperbaiki sifat beton, tetapi beberapa faktor harus diperhatikan saat digunakan terutama pada konstruksi jalan raya, dimana abu terbang banyak digunakan. Dalam sebuah laporan yang disiapkan oleh Virginia Highway and Transportation Research Council (VHTRC) dan dirangkum oleh Halstead (1986), menyatakan bahwa beberapa hambatan yang berkaitan dengan penggunaan beton *fly ash* untuk pembangunan jalan raya dan struktur jalan raya sebagai berikut:

- 1) Tindakan pencegahan khusus diperlukan untuk memastikan bahwa ada jumlah udara yang masuk yang cukup;
- 2) Tidak semua abu terbang memiliki aktivitas *pozzolanic* yang cukup untuk menghasilkan beton yang baik;
- 3) Abu terbang yang sesuai tidak selalu tersedia di dekat lokasi konstruksi, dan biaya transportasi dapat membatalkan keuntungan biaya apapun; dan
- 4) proporsi campuran mungkin harus dimodifikasi untuk kemungkinan komposisi *fly ash*.

Karena reaksi semen *fly ash* dipengaruhi oleh sifat semen, penting bagi agen transportasi untuk tidak hanya menguji dan menyetujui setiap sumber *fly ash* tetapi juga untuk menyelidiki sifat kombinasi *fly ash-cement* spesifik yang akan digunakan untuk setiap proyek (Halstead 1986).

h. Pemanfaatan untuk Menjadi Zeolit Sintetis

Fly ash dapat digunakan untuk membuat Zeolit sintesis. Zeolit sintesis atau ZSM-5 merupakan salah satu zeolit sintesis yang banyak digunakan di industri terutama sebagai katalis karena memiliki aktivitas dan selektivitas yang tinggi pada beberapa reaksi konversi hidrokarbon serta tidak mudah terdeaktivasi. ZSM-5 mempunyai bentuk selektivitas unik, keasaman, pertukaran kation, memiliki stabilitas termal dan struktur jaringan. Oleh karena itu, ZSM-5 sangat luas digunakan pada industri petroleum dan petrokimia. Sifat katalitik dan sifat penyerap dipengaruhi oleh keasaman dan ukuran kristalnya. Keasaman ZSM-5 mempunyai efek yang signifikan terhadap reaksi dan distribusi produk pada reaksi-reaksi yang melibatkan reaktan dengan ukuran molekul kecil (Shirazi dkk, 2008).

i. Penggunaan *Fly Ash* untuk Konstruksi Beton

Beberapa sifat atau karakter dari *fly ash* yang diharapkan untuk dimanfaatkan dan memberikan kelebihan bagi campuran beton, adalah :

- a. *Spherical Shape* (bentuk partikel yang hampir bulat sempurna), yang menghasilkan *ball bearing effect* (epek bantalan bola) untuk "melumasi" adukan pasta dan mortar semen sehingga mempunyai kemampuan alir (*flowability*) dan *workability* (tingkat kemudahan pekerjaan) yang lebih baik.
- b. Ukuran partikel yang sangat halus, yang membuat *fly ash* mampu mengisi celah kecil dalam komposisi adukan beton, sehingga meningkatkan kepadatan beton sehingga lebih *impermeable* (kedap air), lebih tahan terhadap abrasi, dan memperkecil susut beton.
- c. Dalam kadar tertentu dan lingkungan yang mendukung (kelembaban cukup dan suhu normal/kamar), kandungan senyawa silika atau silika + alumina akan mengikat senyawa sisa hasil hidrasi semen (kalsium hidroksida) yang tidak mempunyai kemampuan mengikat, menjadi senyawa baru yang mempunyai sifat *cementitious* (mengikat) sehingga dalam taraf tertentu akan meningkatkan kekuatan beton yang dihasilkan.
- d. Dalam kadar tertentu, membantu meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan garam alkali.
- e. Mengurangi reaktifitas silika-alkali.
- f. Mengurangi potensi *bleeding* dan segregasi.
- g. Memperpanjang waktu setting sehingga memberikan waktu lebih banyak untuk pengerjaan beton segar.
- h. Mengurangi panas hidrasi, sehingga diharapkan mengurangi kemungkinan terjadinya retak selama proses *setting* dan *hardening* beton.
- i. Membuat biaya produksi beton menjadi lebih murah, karena secara ekonomis *fly ash* lebih murah dari semen.

j. Berbagai Kadar Pemakaian *Fly Ash* dalam Campuran Beton

Beberapa penelitian dengan penambahan *fly ash* pada campuran beton menunjukkan kadar 10% atau 20% sebagai kadar optimum *fly ash* untuk peningkatan mutu beton. ASTM, ACI dan SNI memberikan nilai penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen dalam campuran beton adalah 15-25%. Kadar maksimum *fly ash* yang direkomendasikan untuk permukaan beton yang dilapis dengan keramik adalah 15%. Perhitungan kadar *fly ash* dilakukan dengan membagi berat *fly ash* (termasuk berat *fly ash* yang sudah ada dalam semen yang digunakan) dengan berat total *fly ash* ditambahkan dengan semen.

$$\text{Kadar fly Ash} = \frac{\text{Berat Pozalanic (Fly Ash)}}{\text{Berat Pozalanic+Cementitious}} \quad (1)$$

Beberapa pandangan dan rekomendasi umum kadar pemakaian *fly ash* sebagai bahan pertimbangan, keputusan nilai kadar yang akan dipakai dalam proyek disarankan ditetapkan berdasar pertimbangan data dari *batching*

plant, pandangan konvensional dalam penentuan kadar *fly ash* menetapkan kadar maksimal 10% untuk pemakaian dalam beton konstruksi bangunan, yang tidak terpengaruh oleh lingkungan korosif (sulfat, air laut, dsb), dengan pertimbangan:

- Hampir semua penelitian memastikan bahwa dengan kadar *fly ash* 10% memberikan kepastian peningkatan mutu beton
- Beberapa penelitian menunjukkan penambahan *fly ash* di atas 10% beresiko mengalami penurunan kuat tekan/mutu beton secara jangka panjang (walaupun cukup banyak pula penelitian yang menunjukkan kadar *fly ash* di atas 10% masih meningkatkan mutu beton sampai umur 90 hari)
- Relatif aman terhadap susut, karena walaupun secara teoritis penambahan *fly ash* seharusnya mengurangi susut beton terutama susut plastis dan pengeringan, dalam prakteknya masih ditemui penambahan *fly ash* justru memperbesar susut beton

Berbagai penelitian memberikan hasil yang berbeda tentang penurunan mutu beton pada pemakaian *fly ash* yang berlebihan (ada yang menyatakan di atas 10%, 15%, 20%, 25% maupun 30%), hampir semua penelitian sepakat bahwa penggantian semen dengan *fly ash* di atas 25% memberikan efek penurunan kuat tekan jangka panjang, hal ini perlu diperhatikan dalam merancang mutu beton yang digunakan jika memakai kadar *fly ash* di atas 25% harus memperhitungkan penurunan mutu dalam jangka panjang.

k. Persyaratan Umum Penggunaan *Fly Ash* di Indonesia

Ketentuan-ketentuan dan persyaratan-persyaratan abu terbang untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton sebagai berikut:

Tabel 2. Persyaratan Sifat Kimia *Fly Ash*

No.	Senyawa	Kadar %
1.	Jumlah oksida SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ minimum	70
2.	SO ₃ maksimum	5
3.	Hilang pijar maksimum	6
4.	Kadar air maksimum	3
5.	Total alkali dihitung sebagai Na ₂ O maks	1,5

Sumber : SNI-03-2460-1991

Tabel 3. Persyaratan Sifat Fisik *Fly Ash*

No.	Uraian	Persyaratan
1	Kehalusan : Jumlah yang tertinggal dia atas ayakan no. 325 (0,045mm) maks %	34
2	Indeks keaktifan pozolan : 1) dengan menggunakan semen portland kuat tekan pada umur 28 hari, minimum 2) dengan menggunakan kapur padam yang aktif, kuat tekan 7 hari, minimum N/mm	75 % KT adukan pembeding 550
3	Kekekalan bentuk pengembangan/penyusutan dengan autoclave, maksimum %	0,8
4	Jumlah air yang digunakan	105 % dari jumlah air untuk adukan pembeding
5	Keseragaman : Berat jenis dan kehalusan dari contoh uji masing masing tidak boleh banyak berbeda dari rata-rata 10 benda uji atau dari seluruh benda uji yang jumlahnya kurang dari 10 buah, maka untuk : 1) berat jenis, perbedaan maksimum dari rata-rata, % 2) presentase partikel yang tertinggal pada ayakan no. 325 perbedaan dari rata-rata, %	5 5
6	Pertambahan penyusutan karena pengeringan (pada umur 28 hari maksimum, %)	0,03
7	Reaktifitas dengan alkali semen :	

 Pengembangan mortar pada umur 14 hari,
maksimum %

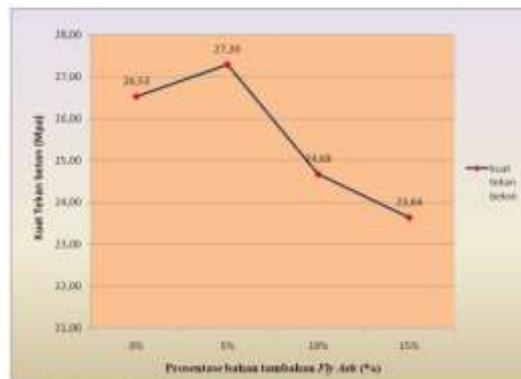
0,02

Sumber : SNI-03-2460-1991

2. PEMBAHASAN DAN ANALISA

Pemanfaatan *Fly Ash* terhadap Konstruksi Beton

Fly ash sebagai mineral tambah dalam campuran beton memiliki sifat atau karakter yang diharapkan dapat memberikan kelebihan bagi campuran beton. *Fly ash* memiliki bentuk partikel yang hampir bulat sempurna), yang menghasilkan *ball bearing effect* untuk "melumasi" adukan pasta dan mortar semen sehingga mempunyai kemampuan alir (*flowability*) dan *workability* yang lebih baik. Ukuran partikel yang sangat halus, membuat *fly ash* mampu mengisi celah kecil dalam komposisi adukan beton, sehingga meningkatkan kepadatan beton sehingga lebih *impermeable* (kedap air), lebih tahan terhadap abrasi, dan memperkecil susut beton. Dalam kadar tertentu, membantu meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan garam alkali. *Fly ash* juga dapat mengurangi reaktifitas silika-alkali, mengurangi potensi bleeding dan segregasi, memperpanjang waktu setting sehingga memberikan waktu lebih banyak untuk pengerjaan beton segar, mengurangi panas hidrasi, sehingga diharapkan mengurangi kemungkinan terjadinya retak selama proses setting dan *hardening* (pengerasan). Semua kelebihan ini membuat biaya produksi beton menjadi lebih murah, karena secara ekonomis *fly ash* lebih murah dari semen.



Gamabr 3. Grafik Hubungan Antara Prosentase Bahan Tambahan *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan Beton

(Sumber: Syaka, Dewi Rara Wiyati. 2013)

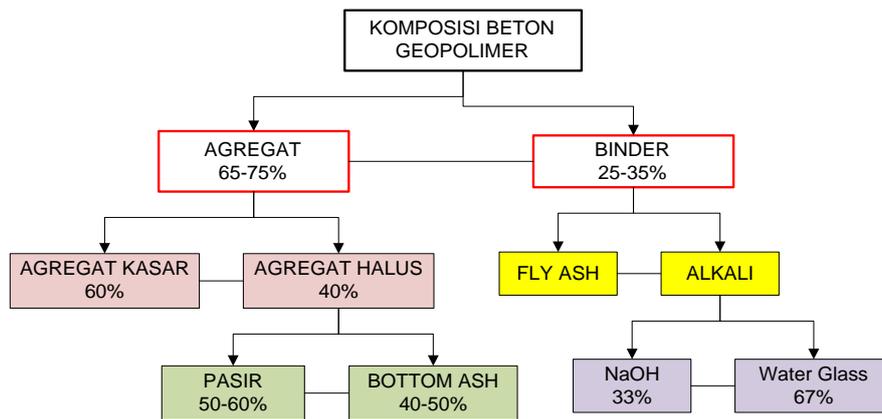
Gambar 3 grafik di atas menunjukkan hubungan antara kuat tekan beton dengan persentase penambahan *fly ash*, pada umur 28 hari. Dari rangkaian grafik di atas pada persentase penambahan *fly ash* sebesar 5% kuat tekan mengalami kenaikan kuat tekan yang paling optimum. Sedangkan pada penambahan *fly ash* sebesar 10% dan 15% kuat tekan menjadi menurun. Hal ini terjadi karena pengikatan semen menjadi berkurang akibat terlalu banyak penambahan *fly ash* dan bahan tambah memiliki ketentuan optimum untuk dapat meningkatkan kuat tekan beton, bukan berarti dengan semakin banyak bahan tambah akan meningkatkan kuat tekan beton, justru malah mengurangi kekuatan beton. Dan untuk penambahan bahan tambah menggunakan bahan tambah *fly ash* kadar optimum didapatkan dengan menambahkan *fly ash* sebesar 5% pada penelitian tersebut.

Dalam beberapa penelitian menunjukkan hasil yang berbeda tentang penurunan mutu beton pada pemakaian *fly ash* yang berlebihan (ada yang menyatakan di atas 10%, 15%, 20%, 25% maupun 30%), hampir semua penelitian sepakat bahwa penggantian semen dengan *fly ash* di atas 25% memberikan efek penurunan kuat tekan jangka panjang, hal ini perlu diperhatikan dalam merancang mutu beton yang digunakan jika memakai kadar *fly ash* di atas 25% harus memperhitungkan penurunan mutu dalam jangka panjang.

Dalam pemanfaatan *fly ash* juga di perlukan untuk menanyakan tipe maupun properties dari material efek jangka panjang atas pemakaian *fly ash* dengan data dari batching plant yang digunakan, karena perbedaan jenis material yang digunakan antar *batching plant* dapat memberikan efek yang berbeda pula.

Pemanfaatan *Fly Ash* untuk Beton Geopolimer

Geopolimer merupakan bahan atau material yang berupa anorganik yang disintesa melalui proses polimerisasi. Berikut bagan pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* tentang mineral polymer yang dihasilkan melalui *geochemistry* (Davidovits, 1997).



Gambar 4. Bagan Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dalam Campuran Beton Geopolimer
(Sumber : Yasin, Abdul Karim. 2017)

Bagan ini menunjukkan komposisi-komposisi campuran pembentuk beton geopolimer dengan memanfaatkan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai mineral penyusunnya. Pada komposisi campuran ini menunjukkan penggunaan *fly ash* sebagai binder yang direaksikan dengan alkali sebagai pengganti semen, sehingga beton ini menghasilkan beton yang ramah lingkungan dengan emisi CO₂ yang rendah.

KESIMPULAN

1. *Fly ash* dan *Bottom ash* merupakan limbah sampingan hasil pembakaran batu bara di PLTU yang dapat di manfaatkan sebagai mineral substitusi bahan rekayasa konstruksi
2. Kandungan Silika yang tinggi pada *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen dalam campuran beton dan menjadi binder dengan mereaksikannya dengan alkali sehingga dapat mengurangi emisi karbon dioksida yang di hasilkan pabrik semen dan eksplorasi alam Indonesia.
3. *Fly ash* memenuhi kriteria minimum slag yang persyaratkan dalam SNI, pembakaran batu bara ini dapat dimanfaatkan sebagai mineral substitusi maupun filler sehingga mereduksi eksploitasi alam dan ikut menopang supply rantai pasok material di Indonesia.
4. Penggunaan *Fly ash* dan *Bottom ash* sebagai binder, filler maupun material substitusi dalam campuran konstruksi beton dan perkerasan dapat memenuhi kinerja mutu rencana yang efisien dan ekonomis.
5. Dalam pemanfaatan limbah abu batu bara ini di butuhkan pengawalan mutu dan perawatan pekerjaan agar manfaat dari limbah ini bekerja sesuai dengan mutu rencana.

REFERENSI

- Chauhan, A. and Chauhan, P. (2013). Natural Fibers Advanced Materials. Journal of Chemical Engineering and Process Technology. <http://dx.doi.org/10.41/2157-7049.56.003>. Retrieved on March, 2014
- Davidovits J. and Davidovics M., (1991), Geopolymer: Ultra-High Temperature Tooling Material for the Manufacture of Advanced Composites", SAMPE Symposium, Vol.36, 2, pp. 1939–1949, Society for the Advancement of Material and Process Engineering, Covina, California, US
- Halstead, W. J. (October 1986), Use of fly ash in concrete. NCHRP 127, Washington: Transportation Research Board, National Research Council
- Prahasto, T., dan Sugiyanto, 2007, Efek Penggunaan Fly Ash sebagai Bahan Cetakan Pada Proses Pengecoran Besi Ditinjau Dari Kekerasan dan Struktur Mikro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro SNI-03-2460 : 1991. "Spesifikasi Abu Terbang". Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Shirazi, L., Jamshidi, E., dan Ghasemi, M. R. (2008), "The Effect of Si/Al Ratio of ZSM-5 Zeolite on Its Morphology, Acidity and Crystal Size". Research Technology, Vol. 43, No. 12, Hal. 1300-1306.
- Syaka, Dewi Rara Wiyati. 2013. "Pembuatan Beton Normal Dengan Fly Ash Menggunakan Mix Design yang Dimodifikasi". Jember : Universitas Jember.
- Yasin, Abdul Karim. 2017. "Rekayasa Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Yao, Z.T., Ji, X.S., Sarker, P.K., Tang, J.H., Ge, L.Q., Xia, M.S., Xi, Y.Q., A, 2015, comprehensive review on the applications of coal fly ash, Earth. Rev. 141, pp 105–121