

KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS PEMANFAATAN LIMBAH BATU BARA (FLY ASH) PADA PRODUKSI PAVING BLOCK

Endah Safitri, Djumari

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS, Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta

Abstrak

Limbah dari pemanfaatan batu bara sebagai sumber energi baru yang berupa abu terbang (*Fly Ash*) dewasa ini sangat melimpah. Salah satu usaha memanfaatkan limbah ini adalah memanfaatkannya sebagai bahan baku pembuatan *paving block*. Penelitian ini mengulas seberapa efisiensi penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah pembuatan *paving block* pada komposisi campuran yang optimal ditinjau dari kuat tekan. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* terhadap volume semen sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% dapat meningkatkan kuat tekan *paving block*, sedangkan penambahan yang optimum *fly ash* adalah sebesar 33,29% sehingga didapat perbandingan campuran 1PC:0,3329FA:5PS dengan kuat tekan 15,54 MPa, sedangkan untuk campuran pembanding tanpa menggunakan *fly ash* didapat kuat tekan sebesar 11,45 MPa, sehingga dengan penambahan *fly ash* pada kadar 33,29 % terhadap volume semen dapat meningkatkan kuat desak sebesar 4,25 MPa atau naik sebesar 37,12%, sedang untuk mencapai kuat tekan sebesar 15,54 MPa untuk campuran pembanding tanpa menggunakan *fly ash* didapat komposisi campuran 1PC:4,14PS. Ditinjau dari segi ekonomis, harga *paving block* dengan bahan tambah *fly ash* dan yang tidak menggunakan bahan tambah *fly ash* pada kuat tekan yang sama yaitu 15,70 MPa diperoleh harga untuk setiap m² berturut-turut adalah Rp 33.006,32 dan Rp 33.740,53.

Kata kunci : *fly ash*, *paving block*, kuat tekan, ekonomis

Abstract

The waste of coal after its usage as source of new energy is known as fly ash, which is recently available abundantly. One of efforts in using this waste material is as an additive in paving block industry. This research presents the efficiency of fly ash as an additive material of paving block at optimum mix composition regarding the paving block compressive strength. Based on the research results it is concluded that by adding 10 %, 20%, 30 %, 40 %, 50% and 60 % of fly ash with Portland Cement or PC volume could increase the paving block compressive strength. The optimum result was achieved at 33,29 % of fly ash addition with mix composition of 1 PC : 0,3329 FA : 5 sand or PS. The compressive strength of this composition was 15,54 MPa or 4,25 MPa or 37,12 % higher than paving block without fly ash which recorded 11,45 MPa with mix composition of 1 PC : 4,14 PS. On the economic aspect the price comparison between paving block with and without fly ash at 15,70 MPa is IDR. 33.006,32 and IDR 33.740,52 per m² respectively.

Keywords : *compressive strength, economic, fly ash, paving block*

1. PENDAHULUAN

Jalan-jalan pada lingkungan komplek perumahan atau komplek ruko pada saat sekarang banyak menggunakan *paving block*. *Paving block* memiliki beberapa keunggulan antara lain, pengerjaan dan perbaikannya mudah dan cepat, ongkos pengerjaan serta perbaikan murah, bisa diatur sedemikian rupa sehingga bisa membentuk motif sesuai dengan yang kita inginkan sehingga membuat jalan pada komplek perumahan atau ruko tampak lebih indah dan ramah lingkungan karena sedikit mengganggu proses penyerapan air oleh tanah.

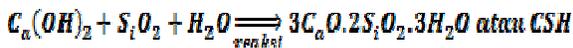
Dengan semakin meluasnya penggunaan konstruksi *paving block* di masyarakat maka diperlukan suatu upaya untuk dapat meningkatkan mutu dari *paving block*. Selain mutu dari *paving block* ini maka perlu dicari solusi agar harga jual dari produk ini terjangkau di masyarakat, hal ini bisa dilakukan dengan penggunaan bahan tambah yang dapat meningkatkan kualitas *paving block* dan banyak tersedia dengan harga yang sangat murah. Penggunaan bahan tambah pada campuran *paving block* selain dapat meningkatkan mutu

juga akan dapat menghemat penggunaan material penyusun utamanya seperti semen dan pasir.

Material *fly ash* yang berasal dari sisa pembakaran batu bara dan merupakan limbah industri, sampai saat ini masih belum ditemukan penggunaan yang tepat, sedangkan produksi limbah batu bara ini semakin meningkat dari tahun ke tahun jauh melebihi dari permintaan pasar. Harga jual dari material *fly ash* ini sangatlah murah, oleh karena itu penelitian tentang penggunaan material *fly ash* yang tepat terus berkembang, hal ini disebabkan material *fly ash* memiliki potensi untuk dibuat bahan bangunan dengan mutu yang baik namun biaya produksinya relatif murah. Sebagai contoh salah satu industri di kawasan Surakarta yang menggunakan 12 ton batu bara per hari yang menurut perhitungan empiris yang dilakukan Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH) menyebutkan dari batu bara yang dibakar tiap satu ton akan menghasilkan abu batu bara (*fly ash*) sekitar 15% -17 %, dengan demikian produksi limbah batu bara pada industri tersebut antara 1,80 ton – 2,04 ton perhari. Sampai saat ini limbah hasil pabrik ini

belum dimanfaatkan secara optimal dikarenakan belum adanya solusi pemanfaatan yang tepat.

Suharwanto, 2000 menyatakan bahwa kandungan kimia dalam abu terbang akan mempengaruhi pada saat beton mengalami reaksi hidrasi antara air, semen Portland dan abu terbang. Dalam proses hidrasi, air dalam campuran beton akan mengikat dikalsium silikat (C₂S) dan trikalsium silikat (C₃S) yang kemudian menjadi kalsium silikat hidrat gel (3CaO.2SiO₂.3H₂O atau CSH) dan membebaskan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂). Tambahan abu terbang yang mengandung silica (SiO₂) dan bereaksi dengan Ca(OH)₂ yang dibebaskan dari proses hidrasi dan akan membentuk Calsium Silikat Hidrat (CSH) kembali, sehingga beton yang dibentuknya akan lebih padat dan kuat atau mutunya bertambah. Reaksi ini sering disebut reaksi sekunder dan rekasi ini berlangsung lambat dan berlaku lebih lama, sehingga mutu beton diatas 28 hari masih dapat meningkat, dengan demikian waktu pengerasan (*setting time*) beton abu terbang menjadi lebih lama bila dibandingkan dengan beton tanpa abu terbang. Reaksi kimia pasta semen dengan abu terbang dapat ditulis sebagai berikut :



Kuat tekan *paving block* merupakan salah satu parameter kualitas mutu yang harus diperhatikan selain ketahanan aus dan daya serap air. Kuat tekan *paving block* sangat dipengaruhi oleh perbandingan bahan penyusunnya seperti semen dan pasir. *Paving block* pada umumnya dibuat dengan campuran 1:6 sampai 1:10 dari semen:pasir [1], tetapi untuk mendapat kualitas yang lebih baik dapat digunakan campuran yang lebih banyak semennya.

Penelitian terdahulu tentang penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah pada beton terbukti dapat meningkatkan kuat tekannya. Secara aktual kuat desak beton normal rata-rata adalah 22,706 MPa (pada umur pengujian 28 hari), sedangkan beton dengan penambahan abu dasar batu bara (*bottom ash*) mencapai kuat desak maksimum pada kadar 20% dengan kuat desak 36,384 MPa (pada pengujian umur 28 hari), sehingga meningkat 16,198%. [2].

Penelitian ini akan memanfaatkan potensi limbah batu bara yaitu *fly ash* pada produk *paving block* sebagai bahan tambah. Dengan berbagai variasi penambahan *fly ash* akan diukur pengaruhnya terhadap kuat tekan *paving block*. Selain itu juga akan ditinjau aspek teknis dan aspek ekonomis dari penambahan *fly ash* tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan benda uji *paving block* yang dibuat dengan perbandingan volume dan dilakukan penambahan abu terbang (*fly ash*) sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% dari volume semen. Benda uji yang digunakan adalah berbentuk persegi dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm.

Komposisi campuran untuk pembuatan benda uji *paving block* bisa dilihat di Tabel 1.



Gambar 1. Benda Uji *Paving Block*

Tabel 1. Benda uji *paving block*

Perbandingan Campuran	% Penambahan <i>Fly Ash</i>	Jumlah Benda uji
1PC:5PS	10%	5
	20%	5
	30%	5
	40%	5
	50%	5
	60%	5
1PC:2PS	0%	5
1PC:3PS	0%	5
1PC:4PS	0%	5
1PC:5PS	0%	5
1PC:6PS	0%	5

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan masing-masing *paving block* persegi tersebut dengan alat *Compression Testing Machine* pada umur 28 hari. Hasil analisa yang diharapkan adalah hubungan antara kuat tekan dan variasi penambahan abu terbang (*fly ash*).

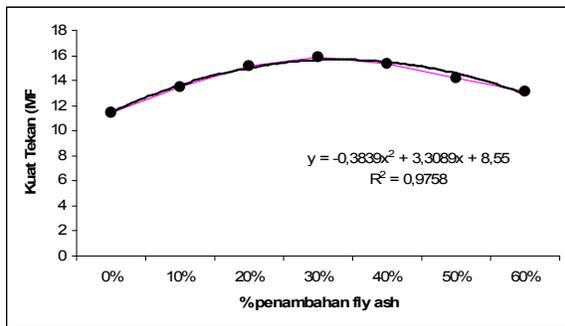
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Aspek Teknis

Dari pengujian kuat tekan yang dilakukan dengan alat *Compression Testing Machine (CTM)* didapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat *paving block* hancur saat menerima beban maksimum (P_{maks}). Dari data beban tersebut maka diperoleh tegangan hancur (disebut juga sebagai kuat tekan maksimum) *paving block*.

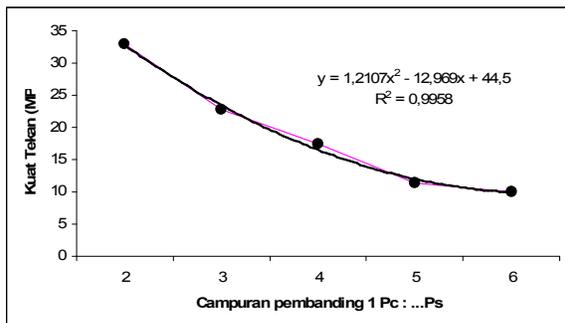
Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* umur 28 hari

% Fly Ash	Perbandingan Campuran	Luas (mm ²)	P _{maks} rerata (kN)	σ _{rerata} (MPa)
10%	1PC:0,1FA:5PS	20000	270	13,50
20%	1PC:0,2FA:5PS	20000	304	15,20
30%	1PC:0,3FA:5PS	20000	318	15,90
40%	1PC:0,4FA:5PS	20000	307	15,35
50%	1PC:0,5FA:5PS	20000	284	14,20
60%	1PC:0,6FA:5PS	20000	263	13,15
0%	1PC:2PS	20000	658	32,90
0%	1PC:3PS	20000	456	22,80
0%	1PC:4PS	20000	347	17,35
0%	1PC:5PS	20000	229	11,45
0%	1PC:6PS	20000	201	10,05



Gambar 2.. Hubungan antara kuat tekan dengan kadar penambahan *fly ash*.

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kuat tekan yang signifikan akibat dari penambahan *fly ash*. Dari Gambar 2 didapat kuat tekan maksimum adalah 15,70 MPa yang dihasilkan dari kadar *fly ash* optimum sebesar 33,29%



Gambar 3. Hubungan antara kuat tekan dengan komposisi campuran

Berdasarkan analisis regresi pengujian kuat tekan *paving block* dengan penambahan *fly ash* yang paling optimum didapat kuat tekan 15,70 MPa, maka akan dicari komposisi perbandingan yang mempunyai kuat tekan yang sama. Dari Gambar 3. akan didapat kuat tekan 15,70 MPa yang dihasilkan dari perbandingan campuran 1PC : 4,14PS.

3.2. Aspek Ekonomis

Hasil survai pada sebuah pabrik pembuatan *paving block* di Sekarpance, Surakarta yang sekaligus digunakan untuk pembuatan benda uji diperoleh data-data sebagai berikut :

1. Kapasitas Produksi = 20 m²/hari, dengan 25 hari kerja setiap bulan.
2. Jumlah tenaga kerja = 4 orang
3. Harga Agregat halus / pasir = Rp. 80.000 / m³
4. Harga PC (*Portland Cement*) = Rp. 33.000 / zak (40 kg)
5. Harga *Fly Ash* = Rp. 600/kg
6. Harga Alat :
 - Mesin Press = Rp. 10.000.000 / buah
 - Depresiasi Mesin Press = $\frac{Rp.10.000.000}{5 \times 300} = Rp. 6.700$ per hari (perkiraan operasional mesin ini adalah 5 tahun, dengan 300 hari per tahun)
 - Alat pendukung = Rp. 3000 / hari (cetakan *paving block*, saringan, ember sikat dan lain-lain)
 - Listrik (operasional mesin) = Rp. 15.000 / hari
7. Tenaga Kerja
 - Pencetakan = Rp. 6.000 / m² = 20 m² x 6.000 = Rp. 120.000 / hari
 - Pencampuran adukan dan perawatan (2 orang) = Rp. 50.000 / hari
8. Tempat (bangunan unit produksi) = Rp. 5.000 / hari

3.3. Kebutuhan Bahan

Dari hasil analisis regresi diatas didapat penambahan optimum *fly ash* yaitu pada penambahan 33,29% dengan kuat tekan 15,70MPa, sedangkan untuk komposisi perbandingan untuk mendapat kekuatan tekan 15,70 MPa diperlukan komposisi campuran yaitu 1PC:4,14PS. Dari perbandingan campuran diatas maka dapat dihitung kebutuhan masing-masing bahan per volume adukan mortar.

3.4. *Paving Block* dengan penambahan *fly ash*

Campuran aktual untuk penambahan *fly ash* yang optimum didapatkan perbandingan campuran 1PC:0,3329FA:5PS (terdapat 6,3329 bagian), sehingga kebutuhan bahan untuk 1 m³ *paving block* diperlukan:

$$\text{- Semen (PC)} = \frac{1}{6,3329} \times 1360,98 \times 1,30 = 279,38 \text{ kg}$$

$$- \text{Fly ash (FA)} = \frac{0,3329}{6,3329} \times 1063,40 \times 1,30 = 72,67 \text{ kg}$$

$$- \text{Pasir (PS)} = \frac{5}{6,3329} \times 1750,46 \times 1,30 = 1796,65 \text{ kg}$$

Produksi setiap hari adalah 20 m² sehingga volume *paving block* dengan tebal 6 cm yang diproduksi adalah 20x0,06 = 1,20 m³.

Kebutuhan bahan yang diperlukan untuk membuat 20 m² *paving block* adalah sebagai berikut :

- Semen = 279,38 x 1,20 = 335,256 kg = 8,38 sak
- Fly ash = 72,67 x 1,20 = 87,20 kg
- Pasir = 1796,65 x 1,20 = 2155,980 kg = 1,232 m³

Berdasar volume diatas dapat dihitung biaya produksi untuk pembuatan *paving block*, secara lengkap disajikan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Harga *paving block* setiap 20 m² dengan bahan tambah *fly ash* 33,29%

No	Unsur Biaya <i>Paving Block</i>	Harga (per hari) Rp
1	Bahan	
	Semen = 8,38 sak x Rp. 33.000,-	276.540,-
	<i>Fly Ash</i> = 87,20 kg x Rp. 600,-	52.320,-
	Pasir = 1,232 m ³ x Rp. 80.000,-	98.560,-
2	Alat	
	Mesin Cetak	6.700,-
	Listrik (operasional mesin)	15.000,-
	Alat pendukung	3.000,-
3	Upah tenaga kerja	
	Pencetakan 2 orang	120.000,-
	Pencampuran adukan dan perawatan 2 orang	50.000,-
4	Tempat (bangunan produksi)	5.000,-
TOTAL BIAYA PER HARI		627.120,-

Dengan anggapan resiko rusak atau cacat selama pencetakan dan perawatan sebesar 5%, maka timbul faktor resiko sebesar 0,95, sehingga harga *paving block* tanpa penambahan *fly ash* tiap m² adalah

$$\frac{\text{Total Biaya Rp. 627.120,-}}{20 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 627.120,-}}{20 \times 0,95} = \text{Rp. 33.000,32}$$

3.5. *Paving Block* tanpa penambahan *fly ash*

Campuran aktual untuk komposisi campuran perbandingan yang mempunyai kuat tekan yang sama dengan kuat tekan *paving block* yang menggunakan *fly ash* adalah 1PC:4,14PS (terdapat 5,14 bagian) sehingga kebutuhan bahan untuk 1 m³ *paving block* diperlukan:

$$\text{Semen (PC)} = \frac{1}{5,14} \times 1360,98 \times 1,30 = 344,22 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir (PS)} = \frac{4,14}{5,14} \times 1750,46 \times 1,30 = 1832,88 \text{ kg}$$

Produksi setiap hari adalah 20 m² sehingga volume *paving block* dengan tebal 6 cm yang diproduksi adalah 20x0,06 = 1,20 m³.

Kebutuhan bahan yang diperlukan untuk membuat 20 m² *paving block* adalah sebagai berikut :

- Semen = 344,22 x 1,20 = 413,064 kg = 10,33 sak
- Pasir = 1832,88 x 1,20 = 2199,456 kg = 1,256 m³

Berdasar volume diatas dapat dihitung biaya produksi untuk pembuatan *paving block*, secara lengkap disajikan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Harga *paving block* setiap 20 m² dengan campuran 1PC:4,14PS.

No	Unsur Biaya <i>Paving Block</i>	Harga (per hari) Rp
1	Bahan	
	Semen = 10,33 sak x Rp. 33.000,-	340.890,-
	Pasir = 1,256 m ³ x Rp. 80.000,-	100.480,-
2	Alat	
	Mesin Cetak	6.700,-
	Listrik (operasional mesin)	15.000,-
	Alat pendukung	3.000,-
3	Upah tenaga kerja	
	Pencetakan 2 orang	120.000,-
	Pencampuran adukan dan perawatan 2 orang	50.000,-
4	Tempat (bangunan produksi)	5.000,-
TOTAL BIAYA PER HARI		641.070,-

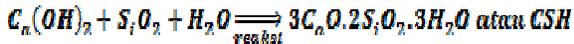
Dengan anggapan resiko rusak atau cacat selama pencetakan dan perawatan sebesar 5%, maka timbul faktor resiko sebesar 0,95, sehingga harga *paving block* tanpa penambahan *fly ash* tiap m² adalah

$$\frac{\text{Total Biaya Rp. 641.070,-}}{20 \times 0,95} = \frac{\text{Rp. 641.070,-}}{20 \times 0,95} = \text{Rp. 33.740,53}$$

4. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji kuat tekan *paving block* dengan menggunakan bahan tambah *fly ash* optimum sebesar 33,29% didapat kuat tekan sebesar 15,70 MPa, sedangkan hasil uji kuat tekan *paving block* tanpa menggunakan bahan tambah *fly ash* didapat kuat tekan sebesar 11,45 MPa, sehingga dengan penambahan *fly ash* pada kadar 33,29 % terhadap volume semen dapat meningkatkan kuat desak sebesar 4,25 MPa atau naik sebesar 37,12%.

Hal ini disebabkan karena kandungan kimia dalam abu terbang akan mempengaruhi pada saat beton mengalami reaksi hidrasi antara air, semen Portland dan abu terbang. Dalam proses hidrasi, air dalam campuran beton akan mengikat dikalsium silikat (C_2S) dan trikalsium silikat (C_3S) yang kemudian menjadi kalsium silikat hidrat gel ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ atau CSH) dan membebaskan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$). Tambahan abu terbang yang mengandung silica (SiO_2) dan bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ yang dibebaskan dari proses hidrasi dan akan membentuk Calcium Silikat Hidrat (CSH) kembali, sehingga beton yang dibentuknya akan lebih padat dan kuat atau mutunya bertambah. Reaksi ini sering disebut reaksi sekunder dan reaksi ini berlangsung lambat dan berlaku lebih lama, sehingga mutu beton diatas 28 hari masih dapat meningkat, dengan demikian waktu pengerasan (*setting time*) beton abu terbang menjadi lebih lama bila dibandingkan dengan beton tanpa abu terbang. Reaksi kimia pasta semen dengan abu terbang dapat ditulis sebagai berikut :



Sedang dari analisa harga *paving block* dengan komposisi campuran yang menggunakan bahan tambah *fly ash* dan yang tidak menggunakan bahan tambah *fly ash* pada kuat tekan yang sama yaitu 15,70 MPa diperoleh harga untuk setiap m^2 berturut-turut adalah Rp 33.006,32 dan Rp 33.740,53. Berdasarkan hasil tersebut maka potensi pemanfaatan limbah batu bara berupa abu terbang (*fly ash*) akan sangat bermanfaat bagi peningkatan kuat tekan *paving block*, di samping itu juga terbuka kesempatan luas untuk memanfaatkan limbah tersebut menjadi barang dan material bangunan yang mempunyai nilai ekonomi yang tinggi.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan fly ash terhadap volume semen sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% dapat meningkatkan kuat tekan paving block. Penambahan yang optimum fly ash adalah sebesar 33,29% pada perbandingan campuran 1PC:0,3329FA:5PS dengan kuat tekan 15,54 MPa, sedangkan untuk campuran pembandingan tanpa menggunakan fly ash didapat kuat tekan sebesar 11,45 MPa, sehingga dengan penambahan fly ash pada kadar 33,29 % terhadap volume semen dapat meningkatkan kuat desak sebesar 4,25 MPa atau naik sebesar 37,12%, sedang untuk mencapai kuat tekan sebesar 15,54 MPa untuk campuran pembandingan tanpa menggunakan fly ash didapat komposisi campuran 1PC:4,14PS.

Ditinjau dari segi ekonomis, harga paving block dengan bahan tambah fly ash dan yang tidak menggunakan bahan tambah fly ash pada kuat tekan yang sama yaitu 15,70 MPa diperoleh harga untuk setiap m^2 berturut-turut adalah Rp 33.006,32 dan Rp 33.740,53.

6. REFERENSI

- [1] Murdock, L.J, L.M.Brock (alih bahasa : Stephanus Hendarko).1991.*Bahan dan Praktek Beton*.Erlangga.Jakarta
- [2] Elfandari,A. 2007. *Kuat Tekan Mortar Menggunakan Bahan Material Lokal Sebagai Pengganti Semen*. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Surakarta.