

PEMANFAATAN BOTTOM ASH DAN FLY ASH TIPE C SEBAGAI BAHAN PENGGANTI DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK

Kevin Klarens¹, Michael Indranata², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : PT. PLTU Paiton menghasilkan 7.5 ton *fly ash* dan 2.5 ton *bottom ash* setiap jam. Pemanfaatan *bottom ash* masih sangat minimal, sehingga mengakibatkan timbunan *bottom ash* yang semakin meningkat, dan cenderung mencemari lingkungan dan kesehatan. Berdasarkan alasan tersebut maka perlu adanya usaha untuk memanfaatkan limbah batu bara, salah satunya melalui pembuatan *paving block*. Sampel tahap pertama terbuat dari campuran semen dan *bottom ash* (lolos ayakan 2 atau 5 mm) dengan perbandingan massa 1:3, 1:4, dan 1:5. Komposisi campuran dengan properti paling baik (kuat tekan, serapan air, dan ketahanan aus) dimodifikasi dalam tahap kedua, yaitu mengganti porsi semen sebanyak 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80% dengan *fly ash* tipe C. Pada tahap ketiga, sampel dengan 30 dan 50% *fly ash* dibuat kembali menggunakan gabungan *bottom ash* lolos ayakan 5 dan 10 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah *curing* selama 28 hari, penggunaan *bottom ash* lolos ayakan 5 mm menghasilkan *paving* dengan properti lebih baik dibanding *bottom ash* lolos ayakan 2mm. Penambahan jumlah *bottom ash* menurunkan properti *paving* dan penggantian *fly ash* atas semen paling optimum adalah sebesar 20-50%. Penggunaan 50% *bottom ash* lolos ayakan 10 mm dan 50% lolos ayakan 5 mm meningkatkan properti *paving* dengan kuat tekan melampaui 40 MPa.

KATA KUNCI : *bottom ash*, *fly ash*, *paving*, kebutuhan air, kuat tekan, serapan air, ketahanan aus.

1. PENDAHULUAN

Dalam proses produksi *paving* diperlukan sumber daya alam yang sulit diperbarui. Di lain pihak, limbah pembakaran batu bara dari pembangkit listrik sudah menjadi permasalahan yang memprihatinkan. Berdasarkan hasil kunjungan ke PLTU Paiton pada 15 Oktober 2015, didapat data bahwa penggunaan batu bara per jam bisa mencapai 250 ton dan akan dihasilkan limbah hasil pembakaran sebanyak 4% yang terdiri dari 25% *bottom ash* dan 75% *fly ash*.

Pemanfaatan *fly ash* dalam bidang konstruksi sudah umum di seluruh dunia, mencapai angka 47% penggunaan. Namun, penggunaan *bottom ash* masih jarang, hanya mencapai 5.28% penggunaan (Naganathan et al., 2015). Oleh karena itu, perlu adanya usaha memanfaatkan *bottom ash* demi mengurangi timbunan limbah, sekaligus mengurangi penggunaan pasir yang semakin langka (Singh & Siddique, 2015). Usaha untuk memanfaatkan *bottom ash* terkendala oleh keunikan bentuk butirannya. Bentuk butiran yang sangat kasar memudahkan terjadinya *interlock* antar butiran, menyebabkan penurunan kelecakan campuran segar bila *bottom ash* dimanfaatkan sebagai agregat halus. Namun, *bottom ash* adalah material yang cocok sebagai bahan pengganti sebagian pasir dalam campuran beton. Penggunaan 100% *bottom ash* dapat diterapkan pada beton dimana kelecakan bisa diabaikan, misalnya pada pembuatan *paving* (Singh & Siddique, 2015).

Penelitian ini mencoba untuk memaksimalkan penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti pasir untuk menghasilkan *paving* dengan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dalam kadar tertentu. *Bottom ash* dan *fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Paiton, Jawa Timur, Indonesia. Memaksimalkan penggunaan *bottom ash* dilakukan dengan melakukan pengayakan, sehingga dapat dievaluasi efek dari

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, klarensk@gmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, michaelinyong@gmail.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

pengurangan ukuran butiran terhadap properti *paving*. Evaluasi dilakukan pada ratio campuran *bottom ash* terhadap semen, kemudian dicari kadar optimum penggantian semen dengan *fly ash* sehingga didapatkan mix design yang terdiri dari *fly ash*, *bottom ash*, dan semen. Selain itu akan diteliti pul pengaruhnya penggunaan *bottom ash* sebagai agregat dengan variasi ukuran partikel yang bervariasi.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Fly Ash

Fly ash atau abu terbang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara yang pada umumnya dihasilkan oleh pabrik dan PLTU. *Fly ash* berbentuk bubuk yang halus. *Fly ash* merupakan material dengan sifat pozzolanik yang baik. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari oksida-oksida silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah sedikit (Nugraha & Antoni, 2007).

Fly ash kelas C yang berasal dari pembakaran *lignite* atau batu bara *subbituminous* yang memiliki senyawa kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$. Kelas C ini bersifat *pozzolan* dan *cementitious*.

Dari hasil penelitian, *fly ash* tipe C meningkatkan sedikit *workability* beton, mengurangi kadar air beton dan juga meningkatkan kuat tekan beton. *Fly ash* tipe C memiliki kadar kalsium lebih tinggi sehingga memiliki kekuatan awal yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan tipe F. Meningkatnya kadar *fly ash* dapat mengurangi kebutuhan air, hal ini dikarenakan oleh bentuk partikel *fly ash* yang bulat dan memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga mengurangi *void* (Naganathan et al., 2015).

Reaksi pozzolan *fly ash* cukup lambat pada usia dini, sehingga berperilaku sebagai *micro aggregate* untuk mengisi pori beton. Pada usia lebih lanjut, *fly ash* mulai menimbulkan efek kimia dan meningkatkan kuat tekan beton (Mengxiao et al., 2015). Kekuatan beton menurun dengan meningkatnya kadar *fly ash* sampai usia 90 hari. Namun, kuat tekan beton umur 100 sampai 130 hari lebih tinggi dari pada beton tanpa *fly ash* (Chousidis et al., 2015).

2.2 Bottom Ash

Bottom ash, sama halnya dengan *fly ash* merupakan hasil sisa pembakaran batu bara di boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Ukuran *bottom ash* lebih besar dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* jatuh ke dasar tungku pembakaran.

Penampilan fisik *bottom ash* mirip dengan pasir sungai alami, dan gradasinya bervariasi seperti pasir halus dan pasir kasar. Ukuran butiran *bottom ash* membuat para peneliti tertarik untuk menggunakannya sebagai bahan pengganti dalam produksi beton (Singh & Siddique, 2015).

Ukuran partikel yang lebih besar dari *fly ash* mengakibatkan *workability* campuran yang menggunakan *bottom ash* lebih buruk dari pada campuran yang menggunakan semen dan *fly ash*. Secara umum reaksi pozzolan abu batu bara berhubungan dengan kehalusan partikel, dalam hal ini *bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih kasar dan besar dari *fly ash* dimana dipercaya akan menyebabkan reaksi pozzolan yang tidak efektif (Kim, 2015).

Campuran beton dengan menggunakan *bottom ash* sebagai bahan pengganti agregat halus menghasilkan beton dengan kekuatan tekan dan ketahanan abrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran tanpa *bottom ash*. Hal ini berkaitan erat dengan kuat tekan beton dimana semakin tinggi kuat tekan maka semakin tinggi pula ketahanan abrasinya (Singh & Siddique, 2015).

2.3 Bata Beton (Paving Block)

Sebagai bahan penutup dan pengerasan permukaan tanah, *paving block* sangat luas penggunaannya untuk berbagai keperluan, mulai dari keperluan yang sederhana sampai penggunaan yang memerlukan spesifikasi khusus. *Paving block* dapat digunakan untuk perkerasan dan memperindah trotoar jalan.

Secara umum *paving block* dibuat dari semen Portland dan agregat halus maupun kasar. Namun sekarang banyak penelitian telah menemukan alternatif material pengganti pada pembuatan *paving block*, dengan maksud meningkatkan properti dari *paving*, mengurangi biaya material, dan mencegah kerusakan lingkungan. Sekarang sedang gencar dikembangkan pembuatan *paving* memakai *bottom ash* yang masih sangat jarang dimanfaatkan dalam dunia konstruksi sebagai bahan pengganti.

Semakin meningkat kadar *fly ash* maka semakin meningkat hasil pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Ini disebabkan oleh ukuran partikel *fly ash* yang halus menutup pori dan mengurangi *void* (Naganathan et al., 2015). Pada sampel yang telah di *curing* selama 28 hari, penyerapan air akan meningkat dengan bertambahnya pemakaian *bottom ash* sedangkan kuat tekan akan terus menurun seiring naiknya persentase *bottom ash* terhadap semen. Hal ini menunjukkan peningkatan porositas akan mengakibatkan penurunan pada kualitas *paving*.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Material

Fly ash dan *bottom ash* berasal dari *power plant* YTL Paiton. Uji XRF *fly ash* dan *bottom ash* dilakukan di Laboratorium Sucofindo, Surabaya. *Bottom ash* yang digunakan adalah *bottom ash* lolos ayakan 2, 5, dan 10 mm yang diperoleh melalui pengayakan. Semen yang digunakan PPC PT. Semen Gresik. Pasir untuk sampel kontrol adalah pasir Lumajang lolos ayakan 5 mm.

3.2 Alat

Pembuatan semua sampel *paving* bertebal 8 cm menggunakan *mixer*, mesin pemadat, dan pencetak milik PT. YTL Paiton. Pengukuran jumlah air yang dituang menggunakan gelas ukur, dan pengukuran jumlah material menggunakan timbangan digital.

3.3 Mix Design

Mix design penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**. Kontrol merupakan *paving* dengan bahan semen dan pasir (tabel (a) no.1-6), tahap 1 merupakan *paving* dengan bahan semen dan *bottom ash* (tabel (a) no.7-12), tahap 2 merupakan *paving* S1B3-5 yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen (tabel (b) no.1-8), Tahap 3 merupakan *paving* S1B3-5-F30 dan S1B3-5-F50 dengan agregat *bottom ash* 50% lolos ayakan 5mm dan 50% lolos ayakan 100.

Tabel 1. Mix Design yang Digunakan dalam Penelitian, yaitu : a) Kontrol dan Tahap 1, b) Tahap 2 dan 3

No	Kode	Komposisi Campuran		
		Semen	BA	Pasir
1	C1P3	1	-	3
2	C1P4	1	-	4
3	C1P5	1	-	5
4	C1P6	1	-	6
5	C1P7	1	-	7
6	C1P9	1	-	9
7	S1B3-2	1	3	-
8	S1B4-2	1	4	-
9	S1B5-2	1	5	-
10	S1B3-5	1	3	-
11	S1B4-5	1	4	-
12	S1B5-5	1	5	-

No	Kode	Komposisi Campuran		
		Semen	FA	BA
1	S1B3-5-F10	0.9	0.1	3
2	S1B3-5-F20	0.8	0.2	3
3	S1B3-5-F30	0.7	0.3	3
4	S1B3-5-F40	0.6	0.4	3
5	S1B3-5-F50	0.5	0.5	3
6	S1B3-5-F60	0.4	0.6	3
7	S1B3-5-F70	0.3	0.7	3
8	S1B3-5-F80	0.2	0.8	3
9	S1B3-5-F30K	0.7	0.3	3
10	S1B3-5-F50K	0.5	0.5	3

3.4 Pengujian Sampel

Pengujian yang dilakukan adalah kebutuhan air, kuat tekan (umur 7, 14, 28 hari), serapan air (umur 28 hari), dan ketahanan aus (umur 28 hari). Kebutuhan air sampel adalah penjumlahan dari kandungan air material dengan jumlah air yang dimasukkan dalam *mixer* untuk mencapai kelecakan campuran segar *paving* yang sesuai. Uji kuat tekan dilakukan pada sampel berumur 7, 14, dan 28 hari menggunakan *Universal Testing Machine* di Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra. Uji serapan air dilakukan pada sampel berumur 28 hari, dan uji ketahanan aus pada sampel 28 hari menggunakan mesin aus di Laboratorium Beton dan Konstruksi Institut Teknologi Sepuluh Noverber.

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Material

Analisa material ini dilakukan pada material *fly ash* dan *bottom ash*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui penggolongan tipe *fly ash* yang digunakan dan juga kandungan oksida *bottom ash*. Hasil XRF *fly ash* dan *bottom ash* bisa dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Perbandingan Berat Komposisi Oksida Fly Ash

FA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MnO ₂	P ₂ O ₅	LOI
%	34,29	16,62	15,38	0,73	18,18	7,52	1,35	2,97	1,63	0,17	0,25	0,36

Tabel 3. Perbandingan Berat Komposisi Oksida Bottom Ash

BA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MnO ₂	LOI
%	34,39	10,02	18,41	0,65	21,16	9,70	0,90	0,24	0,66	0,22	3,54

Berdasarkan **Tabel 2** dapat diketahui bahwa *fly ash* yang dihasilkan oleh PT.YTL, Paiton merupakan *fly ash* tipe C dengan kandungan CaO diatas 10%.

4.2 Kebutuhan Air Paving

Sampel *paving* dibuat sesuai dengan *mix design* pada **Tabel 1**. Perhitungan kebutuhan air dalam campuran bertujuan untuk menganalisa pengaruh jumlah dan ukuran partikel *bottom ash* serta jumlah *fly ash* terhadap air yang diperlukan agar kelecakan campuran mencapai kondisi yang sempurna. Hasil perhitungan untuk setiap komposisi campuran bisa dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Kebutuhan Air dalam Perbandingan Massa : a) Kontrol, b) Tahap 1, c) Tahap 2 dan 3
(a)

No	Kode	Variabel		Pasir	Semen	Air	Air/Solid	Air/Semen
		Semen	Pasir					
1	C1P3	1	3	3.00	1.00	0.29	0.07	0.29
2	C1P4	1	4	3.98	1.00	0.39	0.08	0.39
3	C1P5	1	5	4.98	1.00	0.57	0.10	0.57
4	C1P6	1	6	5.92	1.00	0.64	0.09	0.64
5	C1P7	1	7	6.90	1.00	0.78	0.10	0.78
6	C1P9	1	9	8.92	1.00	0.80	0.08	0.80

(b)

No	Kode	Variabel		BA	Semen	Air	Air/Solid	Air/Semen
		Semen	BA					
1	S1B3-2	1	3	2.62	1.00	0.62	0.17	0.62
2	S1B4-2	1	4	3.50	1.00	0.83	0.18	0.83
3	S1B5-2	1	5	4.53	1.00	1.06	0.19	1.06
4	S1B3-5	1	3	2.59	1.00	0.62	0.17	0.62
5	S1B4-5	1	4	3.43	1.00	0.82	0.18	0.82
6	S1B5-5	1	5	4.26	1.00	0.99	0.19	0.99

(c)

No	Kode	Variabel			BA	FA	Semen	Air	Air/Solid	Air/Semen
		Semen	FA	BA						
1	S1B3-5-F10	0.9	0.1	3	2.92	0.11	1.00	0.78	0.19	0.78
2	S1B3-5-F20	0.8	0.2	3	3.23	0.25	1.00	0.83	0.19	0.83
3	S1B3-5-F30	0.7	0.3	3	3.76	0.43	1.00	0.94	0.18	0.94
4	S1B3-5-F40	0.6	0.4	3	4.38	0.67	1.00	1.05	0.17	1.05
5	S1B3-5-F50	0.5	0.5	3	5.24	1.00	1.00	1.25	0.17	1.25
6	S1B3-5-F60	0.4	0.6	3	6.92	1.50	1.00	1.22	0.13	1.22
7	S1B3-5-F70	0.3	0.7	3	9.20	2.33	1.00	1.63	0.13	1.63
8	S1B3-5-F80	0.2	0.8	3	13.88	4.00	1.00	2.39	0.13	2.39
9	S1B3-5-F30K	0.7	0.3	3	4.01	0.43	1.00	0.63	0.12	0.63
10	S1B3-5-F50K	0.5	0.5	3	5.69	1.00	1.00	0.81	0.10	0.81

Pada sampel *paving* Tahap 1 dengan agregat *bottom ash*, kadar air dalam campuran semakin besar seiring naiknya kadar *bottom ash* terhadap semen. Hal ini berlaku sama bagi sampel dengan agregat *bottom ash* lolos ayakan berukuran 2 mm maupun 5 mm. Perbedaan nya adalah kebutuhan air total *paving* dengan *bottom ash* lolos ayakan 2 mm lebih banyak bila dibandingkan dengan *bottom ash* 5mm. Penyebabnya jumlah rongga yang lebih rendah sehingga kepadatan meningkat pada *paving* dengan *bottom ash* lolos ayakan 5mm dibandingkan dengan *bottom ash* lolos ayakan 2 mm.

Kondisi hampir sama terjadi pada sampel *paving* pasir atau kontrol dimana kebutuhan air cenderung meningkat dengan bertambahnya jumlah pasir terhadap semen. Dari nilai Air/Solid terlihat bahwa kebutuhan air *paving* pasir hanya sekitar 50% dari kebutuhan air *paving bottom ash* untuk mencapai kelecakan yang sempurna.

Berdasarkan tren nilai Air/Solid, bertambahnya jumlah *fly ash* dalam campuran untuk menggantikan semen akan mengurangi kebutuhan air total. Penurunan secara signifikan mulai terlihat pada penggunaan *fly ash* di atas 50%

Dari data sampel-sampel Tahap 3, terlihat bahwa kebutuhan air semakin sedikit apabila gradasi agregat lebih beragam, dalam kasus ini berarti pencampuran 50% agregat *bottom ash* lolos ayakan 10 mm dan 50% 5 mm menghasilkan nilai Air/Solid sekitar 40% lebih rendah. Hal ini menunjukkan kemampuan dari keberagaman gradasi *bottom ash* yang meningkatkan kepadatan *paving*.

4.3 Kuat Tekan *Paving*

Kuat tekan semua sampel *paving* mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan umurnya. Kuat tekan *paving* pada umur 28 hari memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibanding kuat tekan sampel umur 7 dan 14 hari. Hasil kuat tekan sampel 14 hari cenderung lebih besar dari kuat tekan sampel umur 7 hari. Selengkapnya bisa dilihat pada **Tabel 5**.

Dari **Tabel 5** terlihat bahwa bertambahnya kadar *bottom ash* akan menurunkan kekuatan tekan *paving*. *Paving bottom ash* lolos ayakan 5 mm memiliki kuat tekan lebih baik dari 2 mm, karena penggunaan *bottom ash* lolos ayakan 5 mm memiliki gradasi ukuran partikel yang lebih beragam sehingga rongga yang ada lebih sedikit bila dibandingkan *paving bottom ash* 2 dengan ukuran partikel lebih seragam.

Penggantian komposisi semen dengan *fly ash* akan menurunkan kuat tekan *paving*, hal ini dikarenakan ikatan partikel yang berkurang. Sampel dengan penggantian semen sebanyak 20-50% dengan *fly ash* memiliki kuat tekan yang hamper sama dan akan terus berkurang dengan penggantian lebih.

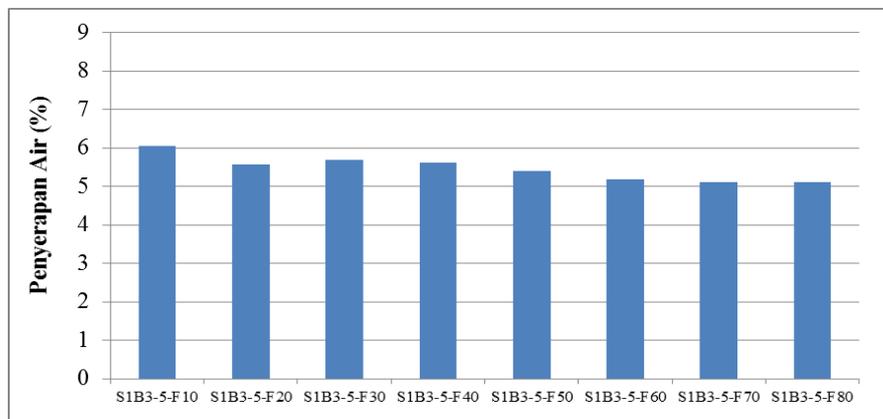
Kuat tekan *paving* meningkat drastis dengan kuat tekan diatas 40 MPa pada semua sampel Tahap 3 dimana agregat *paving* adalah campuran 50% *bottom ash* lolos ayakan 10 mm dan 50% 5 mm. Ini menunjukkan bahwa penggunaan campuran gradasi *bottom ash* yang tepat keberagamannya akan meningkatkan kepadatan *paving* tersebut dan otomatis meningkatkan kuat tekan.

Tabel 5. Kuat Tekan Paving

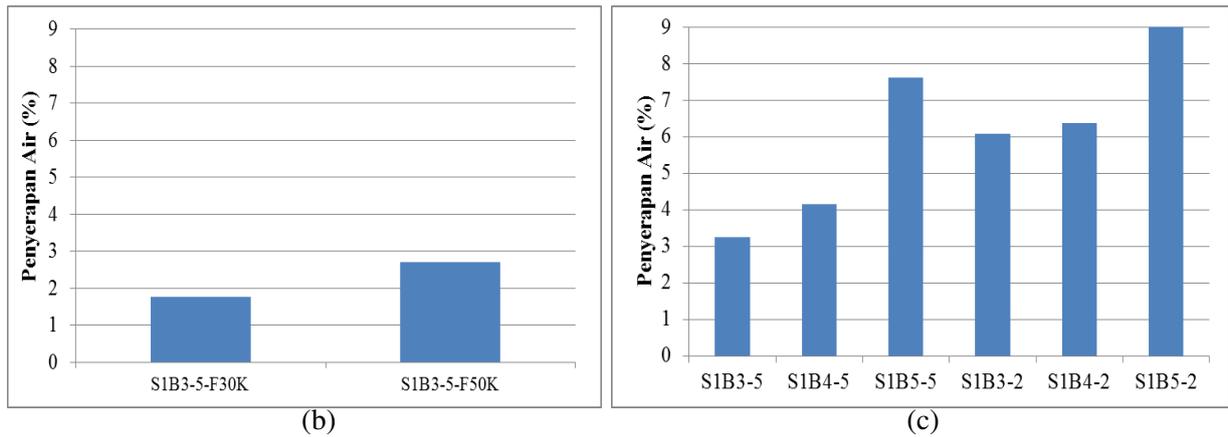
No	Kode	Variabel				Kuat Tekan Rata-rata (MPa)		
		Semen	FA	Pasir	BA	7 hari	14 hari	28 hari
1	C1P3	1	-	3	-	30,23	41,38	41,77
2	C1P4	1	-	4	-	32,07	37,02	39,73
3	C1P5	1	-	5	-	16,57	17,91	19,09
4	C1P6	1	-	6	-	15,89	17,40	18,72
5	C1P7	1	-	7	-	8,95	10,64	11,01
6	C1P9	1	-	9	-	8,78	10,10	10,10
7	S1B3-2	1	-	-	3	17,35	21,69	20,18
8	S1B4-2	1	-	-	4	13,47	15,47	14,40
9	S1B5-2	1	-	-	5	7,56	9,85	10,70
10	S1B3-5	1	-	-	3	24,52	25,78	28,30
11	S1B4-5	1	-	-	4	15,70	21,22	22,85
12	S1B5-5	1	-	-	5	10,25	13,33	13,33
13	S1B3-5-F10	0.9	0.1	-	3	15,93	17,95	19,96
14	S1B3-5-F20	0.8	0.2	-	3	19,59	22,15	27,42
15	S1B3-5-F30	0.7	0.3	-	3	18,92	23,01	24,81
16	S1B3-5-F40	0.6	0.4	-	3	21,09	22,23	26,94
17	S1B3-5-F50	0.5	0.5	-	3	18,66	22,07	22,87
18	S1B3-5-F60	0.4	0.6	-	3	14,34	19,09	24,23
19	S1B3-5-F70	0.3	0.7	-	3	12,40	15,50	20,25
20	S1B3-5-F80	0.2	0.8	-	3	12,69	16,28	14,63
21	S1B3-5-F30K	0.7	0.3	-	3	34,30	44,77	45,64
22	S1B3-5-F50K	0.5	0.5	-	3	32,46	33,92	40,06

4.4 Serapan Air Paving

Penyerapan air yang besar berdampak buruk pada durabilitas *paving*. Hasil pengujian serapan air pada sampel berumur 28 hari bisa dilihat pada **Gambar 1**. *Paving* Tahap 1 dengan *bottom ash* lolos ayakan 5 mm memiliki serapan air jauh lebih rendah dibandingkan 2 mm dengan perbandingan *bottom ash*/semen sama.



(a)

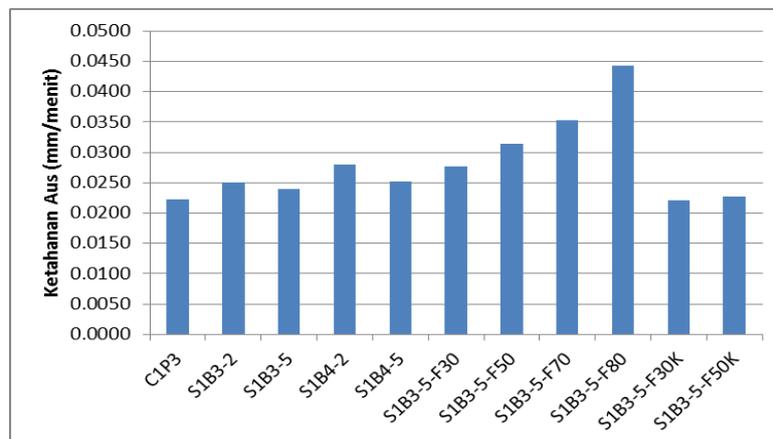


Gambar 1. Serapan Air Paving : a) Tahap 2, b) Tahap 3, c) Tahap 1

Hal ini diakibatkan oleh gradasi ukuran partikel yang lebih seragam pada *bottom ash* lolos ayakan 2 mm, sehingga dihasilkan rongga yang lebih banyak. **Gambar 1.a** menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen meningkatkan daya serap air paving, namun bertambahnya kadar *fly ash* yang digunakan tidak berdampak signifikan terhadap daya serap air suatu paving. **Pada Gambar 1.b** dapat dilihat bahwa pencampuran *bottom ash* lolos ayakan 5mm dan 10mm efektif mengatasi peningkatan daya serap air akibat menggunakan *bottom ash* sebagai agregat.

4.5 Ketahanan Aus Paving

Pengujian kuat aus merupakan hal yang wajib mengingat paving merupakan salah satu material perkerasan jalan. Hasil uji kuat aus dapat dilihat **Gambar 2**. Paving C1P3 yang menggunakan pasir sebagai agregat memiliki kuat aus paling tinggi dibandingkan dengan S1B3-5 yang memiliki nilai aus 0.0239, ini menunjukkan pasir memiliki rekatan antar partikel lebih baik dari pada *bottom ash*, yang dimungkinkan karena perbedaan keseragaman ukuran partikel antara pasir lolos ayakan 5 mm dan *bottom ash* lolos ayakan 5 mm. Sampel dengan jumlah *bottom ash* yang semakin banyak memiliki ketahanan aus yang lebih buruk. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen terbukti mengurangi daya aus paving, yang berarti *fly ash* sebagai pengganti semen memiliki daya rekat antar partikel lebih buruk dari semen. Namun penggunaan campuran gradasi *bottom ash* 10 mm dan 5 mm (S1B3-5-F30K dan S1B3-5-F50K) terbukti dapat meningkatkan kuat aus, sehingga nilai kuat ausnya setara dengan paving yang menggunakan pasir.



Gambar 2. Ketahanan Aus

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bedasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. *Bottom Ash* dapat digunakan sebagai pengganti pasir dalam pembuatan *paving block*, namun kualitas *paving* lebih buruk dari *paving* dengan pasir.
2. Penggunaan *bottom ash* sebagai agregat sebanyak 3 kali jumlah semen dalam campuran dengan ukuran yang serupa dengan pasir (lolos ayakan 5 mm) memiliki kuat tekan 28,3 Mpa pada umur 28 hari, sedangkan yang menggunakan pasir sebesar 41,77 Mpa.
3. Penggantian semen dengan *fly ash* sebesar 20% sampai 50% dan *bottom ash* lolos ayakan 5 mm sebagai 100% agregat adalah yang optimum dengan kuat tekan 22,87 Mpa hingga 27,42 Mpa, lebih rendah dari *paving* yang tidak menggunakan *fly ash*.
4. Penggunaan 50% *bottom ash* lolos ayakan 5 mm ditambah dengan 50% lolos ayakan 10 mm merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan kualitas *paving* dengan agregat 100% *bottom ash*. *Paving* yang dihasilkan memiliki kuat tekan 40,06 Mpa pada umur 28 hari, walaupun dengan penggantian jumlah semen sebanyak 50% dengan *fly ash*.
5. Penggunaan *bottom ash* meningkatkan kebutuhan air, namun pencampuran *bottom ash* lolos ayakan 10 mm dan 5 mm menurunkan kebutuhan air. Ini menunjukkan bahwa ukuran partikel yang bervariasi dapat mengurangi efek porositas *bottom ash*.
6. Penyerapan air *paving* dengan *bottom ash* lolos ayakan 5 mm dan 2 mm tidak ada yang lebih rendah dari 3%. Namun, pencampuran agregat 50% *bottom ash* lolos ayakan 10 mm dan 50% 5 mm menghasilkan *paving* dengan penyerapan air dibawah 3%.
7. Ketahanan aus *paving* berbanding lurus dengan kuat tekan. Semua *paving* dapat mencapai mutu kelas A, dengan ketahanan aus paling baik pada *paving* dengan agregat *bottom ash* kombinasi lolos ayakan 10 mm dan 5 mm.

6. DAFTAR REFERENSI

- Chousidis, N., Rakanta, E., Ioannou, I., & Batis, G. (2015). Mechanical Properties and Durability Performance of Reinforced Concrete Containing Fly Ash. *Construction and Building Materials*, 101, 810–817. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.10.127
- Kim, H.-K. (2015). Utilization of Sieved and Ground Coal Bottom Ash Powders as a Coarse Binder in High-Strength Mortar to Improve Workability. *Construction and Building Materials*, 91, 57–64. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.05.017
- Mengxiao, S., Qiang, W., & Zhikai, Z. (2015). Comparison of the Properties Between High-Volume Fly Ash Concrete and High-volume Steel Slag Concrete under Temperature Matching Curing Condition. *Construction and Building Materials*, 98, 649–655. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.08.134
- Naganathan, S., Mohamed, A. Y. O., & Mustapha, K. N. (2015). Performance of Bricks Made Using Fly Ash and Bottom Ash. *Construction and Building Materials*, 96, 576–580. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.068
- Nugraha, P. & Antoni (2007). *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. C.V. ANDI OFFSET, Yogyakarta.
- Singh, M., & Siddique, R. (2015). Effect of Coal Bottom Ash as Partial Replacement of Sand on Workability and Strength Properties of Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 1–11. doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.001
- Singh, M., & Siddique, R. (2015). Properties of Concrete Containing High Volumes of Coal Bottom Ash as Fine Aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 91, 269–278. doi:10.1016/j.jclepro.2014.12.026