

# PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* TERHADAP MUTU PAVING

Kusdiyono <sup>1)</sup>, Tedjo Mulyono <sup>1)</sup>, Supriyadi <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275

Email : kusdiyono110456@gmail.com , tedjomulyono@yahoo.com , supriyadi083@yahoo.com

## ABSTRAK

*Fly ash dan bottom ash merupakan limbah padat dihasilkan sisa pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap atau proses industri lainnya. Limbah padat ini terdapat dalam jumlah yang relatif besar, sehingga memerlukan pengelolaan yang serius agar tidak menimbulkan masalah pencemaran lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan dan penurunan kualitas ekosistem lainnya. Fenomena yang terjadi, penanganan limbah ini tidak maksimal, terbukti masih adanya perusahaan membuang abu batu bara di Jalan lingkar selatan kota Salatiga (Suara Merdeka, 2012), limbah batu bara makan korban di Kayen, Pati (Suara Merdeka, 2012), kejadian seperti ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah padat dari industri tidak dikelola dengan baik. Sementara penelitian dibidang Rekayasa Bahan sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebagai upaya untuk memecahkan permasalahan dan memanfaatkan limbah industri ini untuk dapat diproduksi menjadi industri lain seperti bahan bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mutu paving (Bata beton) dengan bentuk empat persegi panjang dengan ukuran 60 mm x 100 mm x 200 mm dan model/jenis B2,5, B5, B7,5, B10, B12,5, B15, B17,5 dan B20 terdapat peningkatan kuat tekan rata-rata dibanding dengan model/jenis BN (tanpa penambahan fly ash dan bottom ash). Tertinggi pada penambahan fly ash dan bottom ash 5% dengan kekuatan tekan rata-rata mencapai 225,37 kg/cm<sup>2</sup> umur 14 hari, sedang penurunan terjadi pada penambahan fly ash dan bottom ash mulai dari 7,5% sampai 20% dengan penurunan kuat tekan rata-rata terendah 144,36 kg/cm<sup>2</sup> pada umur uji 14 hari. Persamaan regresi yang didapat  $Y = -4,130 X^2 - 38,91 X + 117,2$  dengan nilai korelasi  $R^2 = 0,766$ , artinya dengan penambahan fly ash dan bottom ash mempunyai pengaruh kuat terhadap kuat tekan paving (Bata beton). Sehingga diperoleh suatu gambaran bahwa dengan menambahkan fly ash dan bottom ash pada pembuatan paving (Bata beton) mutunya dapat menjadi lebih baik.*

**Kata Kunci:** *Fly Ash, Bottom Ash, Pencemaran, Mutu Paving*

## PENDAHULUAN

*Fly ash dan bottom ash merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Ada tiga tipe pembakaran batubara pada industri listrik yaitu dry bottom boilers, wet-bottom boilers dan cyclon furnace (Sri Prabandiyani R.W, 2008). Produksi abu terbang batubara (fly ash) didunia pada tahun 2000 diperkirakan berjumlah 349 miliar ton. Penyumbang produksi abu terbang batubara terbesar adalah pada sektor pembangkit listrik.*

Produksi abu terbang jenis ini di Indonesia terus meningkat, pada tahun 2000 jumlahnya mencapai 1,66 miliar ton dan diperkirakan mencapai 2 miliar ton pada tahun 2006 (Marinda Putri, 2008).

Fenomena yang terjadi, penanganan limbah ini tidak maksimal, terbukti masih adanya perusahaan membuang abu batu bara di Jalan lingkar selatan kota Salatiga (Suara Merdeka, 2012), limbah batu bara makan korban di Kayen, Pati (Suara Merdeka, 2012), kejadian seperti ini menunjukkan bahwa

pengelolaan limbah padat dari industri tidak dikelola dengan baik. Sementara penelitian dibidang Rekayasa Bahan sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebagai upaya untuk memecahkan permasalahan dan memanfaatkan limbah industri ini untuk dapat diproduksi menjadi industri lain seperti bahan bangunan.

Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan limbah tersebut untuk keperluan bahan bangunan seperti batako dan paving blok serta pembenah lahan pertanian. Namun, hasil pemanfaatan tersebut belum dapat dimasyarakatkan, karena berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, abu terbang dan abu dasar dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindian secara alami dan mencemari lingkungan (Tekmira, 2012).

Penelitian ini diharapkan limbah yang berupa *Fly ash* dan *Bottom ash* dapat dimanfaatkan sebagai unsur bangunan pada pembuatan *Paving* dengan proporsi masing-masing bahan (air, semen, agregat, *fly ash* dan *bottom ash*) pada proporsi tertentu.

## METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian yang diinginkan, perlu dilakukan tahapan-tahapan penelitian mulai dari menganalisis material bahan susun sampai dengan menyusun proporsi dan menguji kekuatan tekan *paving*.

*Paving* dibuat dari bahan 1 bagian berat semen *Portland* dengan 8 bagian berat Agregat (Pasir) ditambah dengan 8 variasi proporsi (8 variasi campuran yaitu *paving* tanpa *fly ash* dan *bottom ash*. (BN), *paving* dengan *fly ash* dan *bottom ash* 2,5% (B2,5); 5% (B5); 7,5% (B7,5); 10% (B10); 12,5% (B12,5); 15% (B15); 17,5% (B17,5) dan 20% (B20), semua bahan dalam kondisi kering oven.

Sebagai pedoman dalam pembuatan campuran (*mix design*) menggunakan SNI 03-6883-2002 dengan ketentuan apabila menggunakan perbandingan 1 bagian semen *Portland* dan 8 bagian pasir yang harus diuji sifatnya, maka berat bahan yang dipakai dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Faktor pengubah sekali campur} &= \text{Berat agregat}/(\text{Berat Isi agregat} \times 8) \\ \text{Berat semen } \textit{Portland} &= 1 \times \text{Berat Isi semen} \times \text{Faktor pengubah} \\ \text{Berat pasir} &= 8 \times \text{Berat isi agregat} \times \text{Faktor pengubah} \end{aligned}$$

Sedang air yang dipergunakan dalam campuran ini adalah (35-45)% dari berat semen (fas = 0,35 s.d. 0,45) atau tidak terlalu basah/kering (kadar air optimum) atau sering disebut "*maximum moisture density*".

## Tahap Persiapan Bahan dan alat

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah : **Semen *Portland***, yang dipakai dalam penelitian ini adalah semen *Portland* jenis I produk Gresik, yaitu semen yang digunakan untuk umum, tidak memerlukan persyaratan khusus. *Fly ash* dan *Bottom ash* dari sisa bakar

batubara dari PLTU Tanjungjati Kabupaten Jepara. **Agregat halus (pasir)**, pasir yang dipakai dalam penelitian ini adalah pasir Muntilan sebagai referensi pengujian. **Air**, air diambil dari Laboratorium Politeknik Negeri Semarang.

Sedang Alat yang dipergunakan : **Ayakan**, dipakai untuk memisahkan fraksi-fraksi agregat menurut kelompok butirannya. Dalam penelitian ini digunakan satu set ayakan dari lubang mulai 0,15 mm sampai dengan 9,5 mm. **Timbangan**, dipakai untuk menimbang semen, pasir, dan batu pecah sebelum bahan-bahan dicampur, dengan ketelitian 1 gram. **Gelas ukur**, dipakai untuk mengukur *volume* air. **Cetakan paving**, digunakan untuk mencetak benda uji dengan ukuran sisi 60 mm x 100 mm x 200 mm. **Mesin pengaduk (Mixer)**, digunakan untuk mencampur dan mengaduk mortar kapasitas 5 liter. **Mesin uji tekan**, digunakan untuk menguji kuat tekan silinder beton, merk WF kapasitas 500 kN.

### Tahap pengujian

Pelaksanaan penelitian dimulai dari pemeriksaan bahan susun sampai dengan pengujian kuat tekan benda uji. Secara garis besar meliputi : a) Pemeriksaan agregat halus : Analisa saringan agregat halus, Berat jenis dan penyerapan agregat halus, Bobot isi agregat halus, dan Kadar air agregat halus. b) Pemeriksaan Berat Jenis dan Berat Isi semen *Portland*. c) Pemeriksaan Berat isi *fly ash* dan *bottom ash*.

### Analisa kebutuhan bahan

Perhitungan rencana campuran (*Mix design*), dalam penelitian ini

akan dilakukan *mix design* untuk mendapatkan *paving* tanpa *fly ash* dan *bottom ash*, dan yang dengan menggunakan *fly ash* dan *bottom ash*. Hasil *mix design* selanjutnya dibuat benda uji dengan ukuran 60 mm x 100 mm x 200 mm, sebanyak 108 buah.

### Pencampuran dan pengadukan

Dalam campuran ini untuk setiap macam bahan dan faktor air semen yang sama dibuat dalam satu adukan, dibuat 12 buah benda uji, yang akan diuji tekan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari dengan banyak benda uji masing-masing umur 12 buah. Setelah bahan siap, kemudian dicampur dan diaduk dengan mesin *mixer* kurang lebih 2 - 3 menit.

### Pencetakan dan Perawatan

Mortar dimasukkan dalam cetakan benda uji dalam kondisi lembab (fas antara 0,35 – 0,45) dan dipadatkan dengan alat pemadat secara optimal. Perawatan, cetakan dibuka setelah dibiarkan selama 24 jam yang kemudian diberi tanda (kode) sesuai dengan penambahan *fly ash* dan *bottom ash*, kemudian dirawat dengan disiram air sampai dengan umur uji.

### Pengujian

Benda uji mortar diuji kekuatan tekannya pada umur 7, 14 21 dan 28 hari. Sebelum diuji benda uji ditimbang, diukur dimensinya, kemudian diuji dengan mesin tekan dengan kecepatan 1,4 – 2,5 kg/cm<sup>2</sup> per detik dan dicatat beban tekan maksimumnya.

Kuat Tekan Bata beton ( $\sigma_{\square b}$ ) =  $P/A$  (kg/(cm<sup>2</sup>)) atau MPa

Dimana :

P = beban maksimum (Kg)

A = luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Material

Pengujian material dilakukan dengan menggunakan acuan standar uji Standar Nasional Indonesia (SNI) atau ASTM (jika pada salah satu diantara jenis uji tertentu tidak terdapat dalam SNI), pengujian sifat - sifat material meliputi : uji agregat halus, *fly ash*, *bottom ash* dan Semen *Portland* dengan hasil seperti dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil pegujian sifat fisik dan mekanis agregat

No	Jenis material	Hasil pengujian	Spesifikasi	Keterangan
<b>1 Agregat Halus (Pasir)</b>				
a	Indeks kekerasan		≤ 2,2	Tidak diuji
b	Kekekalan	3,57%	Maksimum 12 %	Memenuhi
c	Kadar butir halus lewat saringan no. 200	4,10%	Maksimum 5 %	
d	Kadar organik	Tidak ada	Tidak boleh ada	Memenuhi
<b>e Analisa ayak</b>				
	Angka kehalusan butir (Fineness modulus)	2,67	1,5 - 3,8	Memenuhi
	Daerah susunan butir	Zone 2	Zone 1,2,3 atau 4	
f	Reaksi alkali agregat		Negatif	Tidak diuji
g	Berat Jenis	2,63	2,5	Memenuhi
<b>h Penyerapan Air</b>				
		1,21%	3	Memenuhi
i	Kadar Air	6,47%	-	
j	Berat Isi	1,68	1,25	Memenuhi
<b>2 Semen Portland</b>				
a	Berat Isi	1,25	> 1,25	Memenuhi
<b>3 Abu Dasar (bottom ash)</b>				
a	Berat Isi	0,93 dan 0,85		
b	Daerah susunan butir	Zone 2	Zone 1,2,3 atau 4	
<b>4 Abu Batubara</b>				
a	Berat Isi	1,12		

### Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Dengan hasil pengujian material agregat yang berasal dari pasir Muntilan seperti diatas, maka agregat tersebut dinyatakan “dapat digunakan” sebagai campuran *Paving*, *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Tanjungjati, Jepara dan semen *Portland* (PC) dalam penelitian ini

menggunakan PPC Jenis I – PU *ex Holcim*.

Agregat dinyatakan dapat dipergunakan untuk campuran adukan *Paving* dan dari semua hasil pengujian sifat fisik / mekanis menunjukkan memenuhi persyaratan seperti yang tercantum dalam SNI 03-6861.1-2002 atau Spesifikasi untuk Bahan Bangunan *non* logam.

Berdasarkan pengujian kekekalan bentuk agregat terhadap larutan *Natrium* atau *Magnesium Sulfat* (*Soundness*), dimana uji ini adalah salah satu cara uji dengan cara percepatan dan mempunyai tujuan untuk mengetahui sampai sejauhmana agregat dapat dinyatakan tahan dari pengaruh cuaca tanpa terjadinya deformasi, serta jika hasil menunjukkan dibawah persyaratan, maka agregat tersebut dapat dinyatakan tahan terhadap pengaruh cuaca (*Durable*). Dari hasil uji didapat 3,57% untuk agregat halus atau lebih kecil dari 12%, berarti pasir Muntilan memenuhi syarat ketahanan terhadap pengaruh cuaca.

Uji Material lolos saringan no. 200 bertujuan untuk mengukur kandungan bahan *impurities* yang terdapat pada agregat. Material yang dimaksudkan adalah lumpur, lanau, tanah liat yang mempunyai sifat tidak kekal yang dapat mengembang dan menyusut akibat pengaruh cuaca disamping menghalangi ikatan antara agregat terhadap semen *Portland*, sehingga dapat mengurangi kualitas beton terutama terhadap kekuatan tekan. Dalam uji ini material lolos saringan no. 200 dibatasi tidak boleh lebih dari 5% untuk agregat halus, sedang hasil pemeriksaan agregat halus menunjukkan 4,10% < 5% (memenuhi syarat).

Uji Berat Jenis dan penyerapan air adalah untuk mengukur agregat yang dipergunakan dalam penelitian ini dapat dipergunakan sebagai campuran adukan spesi / plester. Agregat harus mempunyai Berat jenis lebih besar dari 2,50 sedang Penyerapan airnya tidak boleh melebihi dari 3%. Dari agregat yang diuji menunjukkan Berat jenisnya 2,63 lebih besar dari 2,5 dan Penyerapan airnya 1,21% lebih kecil dari 3% pada agregat halus, artinya bahwa agregat ini dapat dipergunakan untuk penelitian. Dan Berat Isi kering oven menunjukkan 1,68 kg/lit dan 1,46 kg/lit pada keadaan basah kadar air 6,47%.

Dari uji Analisa ayak agregat halus termasuk kasar, karena berada didaerah *zone 2* disamping mempunyai Angka kehalusan butir 2,67, berada pada angka kehalusan butir antara 1,5 sampai 3,8.

Jadi secara umum agregat halus yang dipergunakan dalam penelitian dapat dipergunakan untuk *Paving*, karena secara garis besar persyaratan fisik memenuhi persyaratan sebagai agregat.

### Hasil Pemeriksaan Semen *Portland*

Semen *Portland* dalam penelitian ini tidak diuji mengingat semen dalam fabrikasi telah lolos *Quality Controll*, hanya diuji terhadap Berat isi didapat 1,25 kg/lit.

### Hasil Pemeriksaan Abu Dasar (*bottom ash*)

Abu Dasar (*bottom ash*), memiliki susunan butir kasar dalam *zone 2*. Dengan Berat Isi kering oven menunjukkan 0,85 kg/lit dan 0,93 kg/lit pada keadaan basah kadar air 9,40%.

### Hasil Pemeriksaan Terbang (*fly ash*)

Abu Terbang (*fly ash*), memiliki Berat isi 1,12 kg/lit dengan kehalusan butir lolos no. 200.

### Analisis Kebutuhan Bahan

Dengan pedoman dalam pembuatan campuran (*mix design*) menggunakan SNI 03-6883-2002, apabila menggunakan perbandingan bahan susun 1 bagian semen *Portland* dan 8 bagian pasir, maka berat masing-masing bahan sekali campur dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Faktor pengubah sekali campur} = 2500 / ( 1680 \times 8 ) = 0,186$$

$$\text{Berat semen } \underline{\text{Portland}} = 1 \times 1250 \times 0,186 = 232,51 \text{ gram}$$

$$\text{Berat pasir} = 8 \times 1680 \times 0,186 = 2500 \text{ gram}$$

Sedang air yang dipergunakan dalam campuran ini adalah (35-45)% dari berat semen (*fas* = 0,35 s.d. 0,45) atau tidak terlalu basah/kering (kadar air optimum) atau sering disebut "*maximum moisture density*", dengan susunan perbandingan bahan susun seperti Tabel 2.

**Tabel 2.** Jenis Campuran dan susunan perbandingan bahan

Jenis Campuran	Pasir (kg)	Fly Ash (kg)	Bottom Ash (kg)	Semen (kg)	Keterangan
BN	36.000	0.000	0.000	3.348	Vol 12 benda uji
B2,5	35.100	0.450	0.450		paving = 0,0144 m <sup>3</sup>
B05	34.200	0.900	0.900		
B7,5	33.300	1.350	1.350		
B10	32.400	1.800	1.800		
B12,5	31.500	2.250	2.250		
B15	30.600	2.700	2.700		
B17,5	29.700	3.150	3.150		
B20	28.800	3.600	3.600		

### Hasil pengujian kuat tekan

Uji kuat tekan dari berbagai umur dapat dilihat dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil uji tekan *paving* berbagai jenis campuran dan umur uji

No	Umur uji (hari)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )									Ket
		BN	B2,5	B05	B7,5	B10	B12,5	B15	B17,5	B20	
1		128.28	178.09	230.16	211.29	189.41	191.67	181.86	153.94	163.00	
2	7	147.15	187.90	213.56	220.35	221.86	187.14	178.84	158.47	151.68	
3		135.83	168.28	224.88	214.31	209.03	199.97	179.60	156.96	159.98	
Kuat Tekan Rata <sup>2</sup>		137.09	178.09	222.87	215.32	206.77	192.93	180.10	156.46	158.22	
1		123.18	170.56	250.82	202.33	220.17	186.72	165.54	155.51	134.89	
2	14	111.48	185.05	209.02	221.84	214.04	197.31	163.87	158.30	155.51	
3		164.99	173.90	216.27	225.74	216.27	200.66	168.89	149.38	142.69	
Kuat Tekan Rata <sup>2</sup>		133.22	176.50	225.37	216.64	216.83	194.90	166.10	154.40	144.36	
1		150.76	177.61	197.23	208.59	219.95	191.04	147.67	155.93	150.76	
2	21	132.18	183.81	219.95	214.79	171.42	196.72	192.07	160.57	146.12	
3		151.80	179.16	231.31	217.37	223.05	194.13	150.25	153.35	150.25	
Kuat Tekan Rata <sup>2</sup>		144.91	180.19	216.16	213.58	204.81	193.96	163.33	156.62	149.04	
1		125.08	185.41	223.18	212.88	201.11	194.24	191.30	157.94	156.96	
2	28	137.34	171.68	220.73	215.33	210.92	190.31	147.15	155.98	147.15	
3		142.25	181.49	217.29	215.82	203.56	194.73	146.17	154.51	149.60	
Kuat Tekan Rata <sup>2</sup>		134.89	179.53	220.40	214.68	205.20	193.09	161.54	156.14	151.24	

### Pembahasan

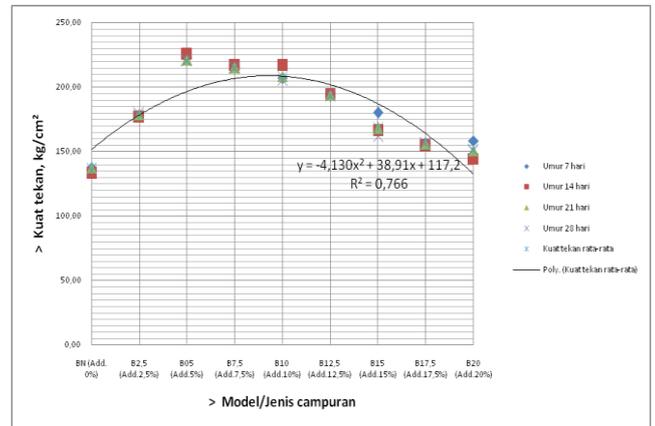
Hasil pengujian kuat tekan *Paving* dari berbagai umur, dapat ditabelkan seperti pada tabel 3 diatas yang menggambarkan hubungan antara Kuat tekan *Paving* dengan umur uji 7, 14, 21 dan 28 hari dengan model campuran tanpa penambahan / penambahan *fly ash* dan *bottom ash* setiap beda 2,5% mulai dari 2,5% sampai dengan 20%.

Hubungan antara Kuat Tekan *Paving* dengan / tanpa *Fly ash* dan *Bottom ash* setiap 2,5% pada berbagai umur uji.

Hasil pengujian sampel *Paving* (Bata beton) dari sejumlah 108 buah, dapat diselesaikan dengan cara analisis hasil nilai kuat tekan rata-rata dari *Paving* tanpa penambahan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai acuan/pembanding dan nilai kuat tekan *Paving* yang sama dengan penambahan tambah setiap beda 2,5% berdasarkan kuat tekan rata-rata tertinggi dan kuat tekan rata-rata terendah seperti pada Tabel 4 dan Gambar 1.

**Tabel 4.** Hubungan antara Model / Jenis campuran dengan kuat tekan *Paving* umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

No	Jenis Campuran	Kuat Tekan, kg/cm <sup>2</sup>				Ket
		7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	
1	BN (non Fly Ash & Bottom Ash)	137.09	133.22	144.91	134.89	
2	B2,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 2,5%)	178.09	176.51	180.19	179.52	
3	B5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 5%)	222.86	225.37	216.16	220.40	
4	B7,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 7,5%)	215.32	216.64	213.58	214.68	
5	B10 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 10%)	206.76	216.82	204.81	205.19	
6	B12,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 12,5%)	192.93	194.90	193.96	193.09	
7	B15 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 15%)	180.10	166.10	163.33	161.54	
8	B17,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 17,5%)	156.46	154.40	156.62	156.14	
9	B20 (Penambahan <i>Fly Ash</i> & <i>Bottom Ash</i> 20%)	158.22	144.36	149.04	151.24	



**Gambar 1.** Hubungan antara Model / Jenis campuran dengan Kuat tekan *Paving* umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

Pengaruh penambahan *fly ash* dan *bottom ash* terhadap kekuatan tekan *Paving* dapat diilustrasikan dalam gambar hubungan kuat tekan rata-rata, umur, dan model / jenis campuran dapat dilihat pada Gambar 1, dengan persamaan regresi  $Y = -4,130 X^2 - 38,91 X + 117,2$  dengan nilai korelasi  $R^2 = 0,766$  yang artinya terdapat hubungan yang “kuat” antara kuat tekan *Paving* dengan berbagai jenis campuran dan umur, karena nilai  $R^2$  berada antara 0,60 – 0,799. Sedang pengaruh kuat tekan rata-ratanya naik pada penambahan 2,5%; 5%; 7,5%; 10% dan menurun sampai dengan 20% dengan umur uji 7, 14, 21 dan 28 hari.

Kekuatan tekan rata-rata tertinggi pada umur 28 hari diperoleh seperti Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari

No	Jenis Campuran	Kuat Tekan & Umur Uji				Kuat Tekan Rata-rata, kg/cm <sup>2</sup>
		7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	28 hari
1	BN ( <i>non Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> )	137.09	133.22	144.91	134.89	137.53
2	B2,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 2,5%)	178.09	176.51	180.19	179.52	178.58
3	B5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 5%)	222.86	225.37	216.16	220.40	221.20
4	B7,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 7,5%)	215.32	216.64	213.58	214.68	215.06
5	B10 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 10%)	206.76	216.82	204.81	205.19	208.40
6	B12,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 12,5%)	192.93	194.90	193.96	193.09	193.72
7	B15 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 15%)	180.10	166.10	163.33	161.54	167.77
8	B17,5 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 17,5%)	156.46	154.40	156.62	156.14	155.91
9	B20 (Penambahan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> 20%)	158.22	144.36	149.04	151.24	150.72

Kuat tekan rata-rata tertinggi pada umur dan penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash* 5% dengan kekuatan tekan 225,37 kg/cm<sup>2</sup> dengan umur uji 14 hari, sedang yang terendah pada tanpa penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash* dengan kekuatan tekan 133,22 kg/cm<sup>2</sup> pada umur uji 14 hari.

Dari data di atas dapat dilihat bahwa dengan penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash* 2,5% s.d. 20% mempunyai pengaruh yang “kuat” terhadap Kuat tekan menjadi lebih tinggi dibanding dengan *Paving* tanpa penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash*.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Model / Jenis Campuran dengan penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash* setiap beda 2,5% dapat dinyatakan bahwa mutu *Paving* menjadi lebih tinggi. Model / Jenis yang terbaik adalah B05 dan B7,5 dengan kuat tekan rata-rata yang dicapai antara 215,06 s.d. 221,20 kg/cm<sup>2</sup>;
2. Kekuatan tekannya bertambah, pada penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash* sampai dengan 7,5% terhadap berat pasir (agregat). Kuat tekan tertinggi pada umur 14 hari 225,37 kg/cm<sup>2</sup> pada Model / Jenis Campuran B05;
3. Kuat tekan terendah diperoleh umur 14 hari, sebesar 133,22 kg/cm<sup>2</sup> pada model / jenis BN atau tanpa penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash*;
4. Dengan penambahan *Fly ash* dan *Bottom ash* dalam *Paving*, terbukti dapat meningkatkan kuat tekan rata-ratanya pada penambahan setiap 2,5% mulai dari 2,5% s.d. 5% selanjutnya menurun sampai pada penambahan 20%.

### Saran

Dengan kesimpulan seperti tersebut diatas, dapat disarankan bahwa :

1. Jika akan menambahkan *Fly ash* dan *Bottom ash* pada pembuatan *Paving*, disarankan untuk tidak melebihi dari 20%

- berat total agregat, karena dengan penambahan melebihi 20% kekuatan tekannya menurun.
2. Karena mutu *Paving* yang terbaik pada SNI 03-6861.1-2002, mensyaratkan Kuat tekan rata-ratanya terendah 170 kg/cm<sup>2</sup> (Mutu III), maka pada proporsi campuran dibuat 1PC : 3 PS agar supaya hasil pengujian lebih signifikan.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada : (1) Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah berkenan menyetujui dan memberikan dukungan dana guna penyelesaian penelitian ini, (2). Direktur Politeknik Negeri Semarang, (3) Ketua Lembaga Penelitian Polines dan seluruh Staf terkait yang telah membantu memberi informasi pelaksanaan penelitian, (4). Seluruh Anggota Tim Peneliti, atas kerjasama, diskusi, saran, dan masukannya sehingga kajian ini dapat berjalan dengan lancar. (5) Ketua Laboratorium Uji Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang yang telah merekomendasi menggunakan peralatan laboratorium dan memfasilitasi segala keperluan pelaksanaan dan, (6). Tenaga laboran Laboratorium Uji Bahan Bangunan Polines, anggota tim pengkaji dan semua pihak yang telah membantu hingga penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

..... 2012. *Perlu Tempat Khusus Limbah Batu Bara*. Suara

Merdeka. Diakses Tanggal : 21 Maret 2012.

..... 2012. *Limbah Batu Bara Makan Korban*. Suara Merdeka. Diakses Tanggal : 13 September 2012.

..... 2012. *Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. Jakarta: Departemen Tekmira.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian dan Pengembangan Wilayah, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil, Standar Nasional Indonesia. 2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Bagian 13 : Kayu, Bahan Lain, Lain-Lain*. Jakarta: Departemen Kimpraswil.

Putri, Marinda. 2012. *abu-terbang-batubara-sebagai-adsorben*. <http://majarimagazine.com>, 07 Februari 2012.

Sekretariat Kabinet RI. 1999. Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 *Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: *Seskabinet RI*.

Wardani, Sri Prabandiyani Retno. 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (fly ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran Lingkungan*. 09 Februari 2012.