

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* PADA PEMBUATAN BETON MUTU f'c 20 Mpa DALAM UPAYA PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI

Kusdiyono^{1,*}, Supriyadi¹, Herry Ludiro Wahyono¹

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. Sudarto, SH., Tembalang, Semarang, 50275
*)Email : jwahana_tspolines@yahoo.com

Abstract

Fly ash and bottom ash are solid waste generated by coal combustion in steam power plants or other industrial processes. This solid waste is present in a relatively large amount, requiring serious management to avoid causing environmental pollution problems, such as air pollution, waters and other ecosystem degradation. The phenomenon that occurs, the handling of this waste is not maximal, it is proven that there are still companies dumping coal ash in the Southern Ring Road of Salatiga city (Suara Merdeka, 2012), coal waste feeding victims at Kayen Pati (Sura Merdeka, 2012), events like this show That the solid waste management from industry is not well managed. While research in the field of Materials Engineering has been done by researchers as an effort to solve problems and utilize this industrial waste to be produced into other industries such as building materials. The results showed that the quality of Concrete with model / type B10 s.d. B17.5 there is an increase in average compressive strength. Highest increase in fly ash and bottom ash 12.5% with average compressive strength reaching 36.09 N / mm² age of 3 days, while decrease occurred in addition of fly ash and bottom ash to 20% with decrease of compressive strength of lowest average 28.03 N / mm² at 28 day test age. The regression equation obtained $Y = - 0,181 X^2 - 2,367 X + 24,50$ with correlation value $R^2 = 0,886$, it means with addition of fly ash and bottom ash have very strong influence to compressive strength of concrete. So we get an illustration that by adding fly ash and bottom ash on the manufacture of concrete and the quality of concrete to be better.

Keywords: *fly ash and bottom ash, pollution, concrete*

PENDAHULUAN

Fly ash dan bottom ash merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Ada tiga type 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 milyar 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 milyar ton dan diperkirakan mencapai 2 milyar ton pada tahun 2006 (Marinda Putri, 2012).

Fenomena yang terjadi, penanganan limbah ini tidak maksimal,

terbukti masih adanya perusahaan membuang abu batu bara di Jalan lingkaran 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 merupakan salah satu bentuk sosialisasi kepada industri khususnya industri kelistrikan dengan pembangkit tenaga uap seperti di Tanjungjati Kabupaten Jepara Jawa Tengah, dengan harapan agar limbah yang berupa *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

dapat dimanfaatkan sebagai unsur bangunan pada pembuatan beton dengan masing-masing bahan (air, semen, agregat, *fly ash* dan *bottom ash*) pada proporsi tertentu.

METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tahap I : Menguji sifat propertis bahan susun beton, seperti : pasir, semen dan *Fly Ash* dan *Bottom Ash*;
2. Tahap II : Uji eksperimental yaitu kekuatan tekan sejumlah benda uji beton mutu $f'c$ 20 Mpa dengan berbagai komposisi penambahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* setiap seri 2,5% mulai dari penambahan 2,5% s.d. 20% yang diharapkan menjadi dasar model dalam pembuatan selanjutnya dari semua model proporsi yang dapat diimplementasikan ke industri PLTU dan masyarakat (masyarakat umum/mahasiswa).

Analisa rencana campuran (*Mix Design*) sesuai dengan SNI 03 – 2834 - 1993, dalam penelitian ini akan dilakukan *mix design* untuk mendapatkan beton tanpa *fly ash* dan *bottom ash*, dan yang dengan menggunakan *fly ash* dan *bottom ash*. Hasil *mix design* selanjutnya dibuat benda uji dengan ukuran \varnothing 150 mm tinggi 300 mm, dengan 9 variasi campuran yaitu beton tanpa *fly ash* dan *bottom ash*. (BN), beton 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), masing-masing seri

campuran terdiri dari 3 sampel, sehingga total benda uji sebanyak 135 buah;

Tahap Persiapan Bahan dan alat

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah : Semen Portland, yang dipakai 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) yang dipakai dalam penelitian ini adalah pasir Muntilan sebagai referensi pengujian. Agregat kasar (batu pecah) dari lokal sekitar Semarang ex Puduk Payung Kab. Semarang; Air diambil dari laboratorium Politeknik Negeri Semarang. Sedang alat yang dipergunakan, adalah ayakan, dipakai untuk memisahkan fraksi-fraksi agregat menurut kelompok butiranya.

Dalam penelitian ini digunakan satu set ayakan dari lubang mulai 0,15 mm sampai dengan 38,1 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; Kerucut Abram's Øbawah 200 mm Øatas 100 mm dan tinggi 300 mm dan Plat # 5 mm panjang 500 mm dan lebar 500 mm serta tongkat pemadat Ø 160 mm panjang 600 mm, dipakai untuk mengukur konsistensi adukan beton. Cetakan silinder beton, digunakan untuk mencetak benda uji dengan ukuran Ø 150 mm tinggi 300 mm;

Mesin pengaduk (Mixer), digunakan untuk mencampur dan mengaduk mortar kapasitas 0,8 m³; *Curing tank*, berfungsi untuk merawat benda uji, dengan ukuran panjang 1200 mm, lebar 800 mm dan tinggi 750 mm. Mesin uji tekan, digunakan untuk menguji kuat tekan silinder beton, merk WF kapasitas 2500 kN.

Tahap pengujian

Penelitian dimulai dari pemeriksaan bahan susun sampai dengan pengujian kuat tekan beton dengan tanpa penambahan *fly ash* dan *bottom ash*. Secara garis besar meliputi :

1. Pemeriksaan agregat halus dan agregat batu pecah : analisa saringan agregat halus, berat jenis dan penyerapan agregat halus, bobot isi agregat halus, dan kadar air agregat halus;
2. Pemeriksaan berat jenis dan berat isi semen Portland;
3. Pemeriksaan berat isi *fly ash* dan *bottom ash*.

Analisa kebutuhan bahan

Analisa kebutuhan bahan susun rencana campuran (*Mix Design*) dilakukan untuk mendapatkan beton tanpa penambahan *fly ash* dan *bottom ash*, dan yang dengan menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebanyak 9 variasi dengan setiap variasi beda 2,5%. Hasil perhitungan selanjutnya dibuat benda uji dengan ukuran Ø 150 mm tinggi 300 mm, sebanyak 135 buah

Pencampuran dan pengadukan

Dalam campuran ini untuk setiap macam bahan dengan faktor air semen

yang sama seperti dalam *mix design* kemudian dibuat dalam satu adukan, sejumlah 15 buah benda uji, yang akan diuji tekan pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Setelah bahan siap, kemudian dicampur dan diaduk dengan mesin *mixer* kurang lebih 3 - 4 menit;

Pencetakan dan Perawatan

Adukan beton sebelum dimasukkan kedalam cetakan, harus diukur konsistensinya dengan uji *slump* dan selanjutnya dimasukkan kedalam cetakan dan dipadatkan dengan alat penggetar (tabel vibrator). Perawatan, cetakan dibuka setelah didiamkan dalam ruang selama 24 jam yang kemudian diberi tanda (kode) sesuai dengan penambahan *fly ash* dan *bottom ash*, kemudian dirawat dengan direndam dalam air (curing tank) sampai dengan umur uji;

Pengujian

Benda uji silinder beton diuji kekuatan tekannya pada umur 3, 7, 14 21 dan 28 hari. Sebelum diuji benda uji terlebih dahulu ditimbang dan diukur dimensinya, kemudian diuji kekuatan tekannya dengan mesin tekan pada kecepatan 2 - 4 kg/cm² per detik dan dicatat beban tekan maksimumnya.

Kuat Tekan Beton:

$$(\sigma'b) = \frac{P}{A} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \text{ atau } MPa$$

Dimana :

P = beban maksimum (Kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Pengujian material dilakukan dengan menggunakan acuan standar uji Standar Nasional Indonesia (SNI) atau *ASTM*, *AASHTO* dan *BS* (jika salah satu diantara metode uji 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.

Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pengujian material agregat yang berasal dari pasir Muntilan seperti diatas, maka dapat disimpulkan bahwa pasir tersebut “dapat digunakan” untuk campuran Beton dengan campuran tambahan *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Tanjungjati Jepara dan semen portland (PC) dalam penelitian ini menggunakan PPC Jenis I – PU ex Gresik. Karena dari semua hasil pengujian sifat fisik/mekanis menunjukkan memenuhi persyaratan seperti yang tercantum dalam SNI 03-6861.1-2002 atau Spesifikasi A untuk Bahan Bangunan non Logam.

Berdasarkan pengujian 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 1% untuk agregat kasar yaitu 0,56% < 1%, sedang hasil pemeriksaan agregat

halus menunjukkan 4,10% < 5% pada agregat halus (memenuhi syarat).

Tabel 1. Hasil Pegujian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis material	Hasil pengujian	Spesifikasi	Keterangan
1	Agregat Kasar (Batu pecah)			
a	Kadar butir halus lewat saringan no. 200	0,56%	Maksimum 1 %	Memenuhi
b	Kekekalan		Maksimum 12 %	Tidak diuj
c	Analisa ayak			
	Angka kehalusan butir (Fineness modulus)	7,15	6,0 - 7,10	Kasar
d	Berat Jenis	2,55	2,5	Memenuhi
e	Penyerapan Air	0,62%	3	Memenuhi
f	Berat Isi	1,35	1,25	Memenuhi
2	Agregat Halus (Pasir)			
a	Indeks kekerasan		≤ 2,2	Tidak diuj
b	Kekekalan		Maksimum 12 %	Tidak diuj
c	Kadar butir halus lewat saringan no. 200	4,10%	Maksimum 5 %	
d	Kadar organik	Tidak ada	Tidak boleh ada	Memenuhi
e	Analisa ayak			
	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
h	Penyerapan Air	1,21%	3	Memenuhi
i	Kadar Air	6,47%	-	
j	Berat Isi	1,50	1,25	Memenuhi
2	Semen Portland			
a	Berat Isi	1,25	> 1,25	Memenuhi
3	Abu Dasar (bottom ash)			
a	Berat Isi	0,93 dan 0,85		
b	Daerah susunan butir	Zone 2	Zone 1,2,3 atau 4	
4	Abu Batubara			
a	Berat Isi	1,12		

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 dan Penyerapan airnya tidak boleh melebihi dari 3%. Dari agregat yang diuji menunjukkan Berat jenis agregat kasar 2,55 lebih besar dari 2,5 dan Penyerapan airnya

0,62% lebih kecil dari 3%, sedang agregat halus 2,63 lebih besar dari 2,5 dan Penyerapan airnya 1,21% lebih kecil dari 3%, artinya bahwa semua agregat dapat dipergunakan untuk penelitian. Sedang Berat Isi kering oven menunjukkan 1,35 kg/lt dan 1,30 kg/lt untuk agregat kasar, sedang agregat halus 1,50 kg/lt dan 1,45 kg/lt.

Dari uji Analisa ayak agregat kasar mempunyai angka kehalusan

butir 7,15 sedikit kasar karena diatas 7,10, sedang agregat halus termasuk kasar, karena berada didaerah zone 2 disamping mempunyai Angka kehalusan butir 2,67, berada pada angka kehalusan butir antara 1,5 s.d. 3,8.

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

Hasil Pemeriksaan Semen Portland, Abu Dasar (*bottom ash*), dan Abu Terbang (*fly ash*)

Semen *Portland* dalam penelitian ini tidak diuji mengingat semen dalam fabrikasi telah lolos *Quality Controll*,

hanya diuji terhadap Berat isi didapat 1,25 kg/lt. Sedangkan abu dasar (*bottom ash*), memiliki susunan butir kasar dalam zone 2. Dengan Berat Isi kering oven menunjukkan 0,85 kg/lt dan 0,93 kg/lt pada keadaan basah kadar air 9,40%, sementara abu terbang (*fly ash*), memiliki Berat isi 1,12 kg/lt dengan kehalusan butir lolos no. 200.

Analisa Kebutuhan Bahan

Analisa kebutuhan bahan dalam pembuatan campuran (*mix design*) beton mutu $f'c$ 20 Mpa dengan menggunakan SNI 03-2834-1993, dengan analisa seperti terlampir dalam lampiran penelitian ini dan diperoleh hasil seperti tabel 2.

Tabel 2. Jenis Campuran dan Susunan Perbandingan Bahan.

Jenis Campuran	Pasir (kg)	Batu pecah (kg)	Fly Ash (kg)	Bottom Ash (kg)	Semen (kg)	Keterangan
BN	69,168	98,823	0,000	0,000	27,289	Vol 15 benda uji
B2,5	69,168	98,823	2,100	2,100		silinder = 0,087474 m ³
B05	69,168	98,823	4,200	4,200		Air 12,097 kg (untuk
B7,5	69,168	98,823	6,300	6,300		dengan penambahan
B10	69,168	98,823	8,400	8,400		setiap 2,5% air dikontrol
B12,5	69,168	98,823	10,499	10,499		setara dengan berat
B15	69,168	98,823	12,599	12,599		penambahan fly ash dan
B17,5	69,168	98,823	14,699	14,699		bottom ash)
B20	69,168	98,823	16,799	16,799		

Hasil pengujian kuat tekan

Uji kuat tekan dari berbagai umur dapat dilihat dalam tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan Beton dari berbagai umur, dapat ditabelkan seperti pada tabel 4.3 diatas yang menggambarkan hubungan antara Kuat tekan Beton dengan umur uji 3, 7, 14,

21 dan 28 hari dengan model campuran tanpa penambahan/dengan penambahan *fly ash* dan *bottom ash* setiap beda 2,5% mulai dari 2,5% sampai dengan 20%.

Hubungan antara Kuat Tekan Beton dengan/tanpa Fly Ash dan Bottom

Ash setiap 2,5% pada berbagai umur uji.

Hasil pengujian sampel Beton dari sejumlah 135 buah, dapat diselesaikan dengan cara analisis dan hasil nilai kuat tekan rata-rata dari Beton tanpa penambahan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai acuan/pembanding dan nilai kuat tekan Beton yang sama dengan penambahan setiap beda 2,5% berdasarkan kuat tekan rata-rata tertinggi dan kuat tekan rata-rata terendah dapat dilihat seperti pada tabel 4 dan gambar 1. Pengaruh penambahan *fly ash* dan *bottom ash* terhadap kekuatan tekan Beton dapat

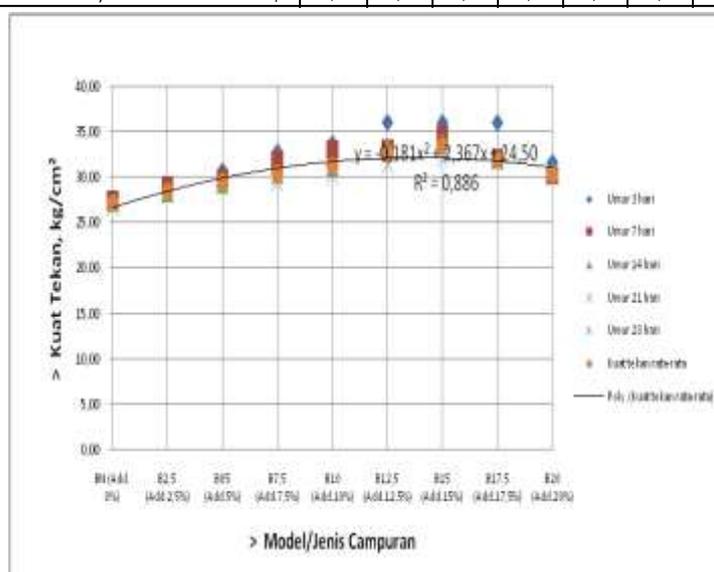
diilustrasikan dalam gambar hubungan kuat tekan rata-rata, umur, dan model/jenis campuran dapat dilihat pada Gambar 4.1, dengan persamaan regresi $Y = - 0,181 X^2 - 2,367 X + 24,50$ dengan nilai korelasi $R^2 = 0,886$ yang artinya terdapat hubungan yang “sangat kuat” antara kuat tekan Beton dengan berbagai jenis campuran (penambahan *fly ash* dan *bottom ash*) dan umur, karena nilai R^2 berada antara 0,80 – 1,0. Sedang pengaruh kuat tekan rata-ratanya naik pada penambahan 10%, 12,5%; 15%; 17,5% dan menurun pada 20% dengan umur uji 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

Tabel 3. Hasil Uji Tekan Beton Dengan Berbagai Jenis Campuran dan Umur Uji

No.	Umur uji (hari)	Kuat Tekan (N/mm ²)									Keterangan
		BN	B2,5	B05	B7,5	B10	B12,5	B15	B17,5	B20	
1	3	27,76	28,45	30,53	31,92	34,70	36,78	36,08	37,47	32,61	
2		27,06	29,14	29,84	34,00	32,61	34,70	35,39	36,08	31,92	
3		27,76	27,76	31,92	32,61	34,00	36,78	36,78	34,70	30,53	
4	7	27,33	28,61	30,32	31,17	31,60	33,31	35,02	32,88	29,04	
5		27,76	29,04	29,89	32,03	33,31	33,31	34,59	32,03	30,32	
6		27,33	29,46	29,46	32,45	34,16	32,88	34,59	31,60	31,17	
7	14	27,13	27,76	29,65	29,65	30,60	33,12	33,12	31,23	31,54	
8		27,44	28,07	28,70	30,28	31,23	34,38	34,06	32,80	29,96	
9		27,13	29,02	29,33	31,23	31,54	32,80	34,70	31,86	30,28	
10	21	28,05	28,93	29,80	28,93	30,68	32,14	32,72	31,26	30,39	
11		27,17	28,34	30,09	29,51	30,97	32,72	33,31	31,85	30,68	
12		26,88	28,63	29,22	29,80	30,97	33,02	33,60	32,43	30,97	
13	28	26,37	28,03	29,14	29,70	29,98	31,09	32,20	31,36	30,25	
14		26,65	28,31	29,42	30,25	30,25	31,64	31,92	31,92	30,25	
15		27,20	27,76	29,14	30,53	30,25	31,64	32,48	32,20	29,98	

Tabel 4. Hubungan Antara Model/Jenis Campuran Dengan Kuat Tekan Beton Umur 3, 7, 14, 21 dan 28 Hari.

No.	Jenis Campuran	Kuat Tekan, N/mm ²						Keterangan
		3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari	Rata-rata	
1	BN (non Fly Ash dan Bottom Ash)	27,53	27,47	27,23	27,37	26,74	27,27	
2	B2,5 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 2,5%)	28,45	29,04	28,28	28,63	28,03	28,49	
3	B5 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 5%)	30,76	29,89	29,23	29,70	29,23	29,76	
4	B7,5 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 7,5%)	32,84	31,88	30,39	29,41	30,16	30,94	
5	B10 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 10%)	33,77	33,02	31,12	30,87	30,16	31,79	
6	B12,5 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 12,5%)	36,09	33,17	33,43	32,63	31,46	33,36	
7	B15 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 15%)	36,08	34,73	33,96	33,21	32,20	34,04	
8	B17,5 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 17,5%)	36,08	32,17	31,96	31,85	31,83	32,78	
9	B20 (Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash 20%)	31,69	30,18	30,59	30,68	30,16	30,66	



Gambar 1. Hubungan Antara Model/Jenis Campuran Dengan Kuat Tekan Beton Umur 7, 14, 21 dan 28 Hari.

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan bahwa model/jenis campuran dengan penambahan *fly ash* dan *bottom ash* setiap beda 2,5% dapat dinyatakan bahwa mutu Beton menjadi lebih tinggi. Model/Jenis yang terbaik adalah B10 dan B17,5 dengan kuat tekan rata-rata yang dicapai antara 31,79 s.d. 34,04 N/mm², sedangkan kekuatannya bertambah, pada penambahan

fly ash dan *Bottom Ash* sampai dengan 17,5% terhadap berat agregat. Kuat tekan tertinggi pada umur 3 hari 36,09 N/mm² pada Model/Jenis Campuran B12,5. Kuat tekan terendah diperoleh umur 28 hari, sebesar 28,03 N/mm² pada model/jenis BN2,5 atau pada penambahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dalam Beton, terbukti dapat meningkatkan kuat tekan rata-ratanya pada penambahan setiap 2,5%

mulai dari 10% s.d. 17,5% selanjutnya menurun sampai pada penambahan 20%;

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah berkenan menyetujui dan memberikan dukungan dana guna penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Achmadi, A., 2009, *Kajian Beton Mutu Tinggi menggunakan Slag sebagai Agregat Halus dan Agregat Kasar dengan aplikasi Superplasticiser dan Silicafume*, Undip, Semarang, 09 Pebruari 2012.

American Society for Testing and Material, 1997, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol.04.02, *Concrete and Aggregates*, Philadelphia : ASTM.

Dajan, A.. 1996, *Pengantar Statistik Jilid II*, Lembaga Penelitian Pendidikan dan Penerangan Ekonomi dan Sosial, Jakarta

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 2 : Batuan Sedimen, Agregat*, Departemen Kimpraswil, Jakarta

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 3 : Beton, Semen, Perkerasan Beton Semen*, Departemen Kimpraswil, Jakarta

D.C. Teychene, 1982, *Design of Normal Concrete Mixes*, London, Departement of Environment, Building Research Establishment, Transport and Road Research Laboratory

Febriyatno, F., 2012, *Pemanfaatan Limbah Bahan Padat Sebagai Agregat Kasar Pada Pembuatan Beton Normal*, Universitas Gundarma, Jakarta, 09 Februari 2012

Ghozali, I., 2009, *Aplikasi Analisis Multivariate dengan program SPSS*, Cetakan IV, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang

Munir, M., 2008, *Pemanfaatan Abu Batubara (Fly Ash) untuk Hollow Block yang bermutu dan aman bagi Lingkungan*, Undip, Semarang

Mulyono, T 2005, *Teknologi Beton, Andi Offset*, Yogyakarta

Nugraha, A.P., 2007, *Teknologi Beton, Andi Offset*, Yogyakarta

Putri, M., 2012, *abu terbang batubara sebagai adsorben*, <http://majarimagazine.com>, 07 Pebruari 2012

Polytechnic Educational Development Center, 1987, *Teknologi Bahan 1*, Departemen Pendidikan dan

- Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi PEDC - Bandung, Bandung
- Polytechnic Educational Development Center*, 1987, *Teknologi Bahan 2*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi PEDC - Bandung, Bandung
- Prabandiyani S.R.W., 2008, *Pemanfaatan Limbah Batubara (fly ash) untuk Stabilisasi tanah maupun keperluan Teknik Sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan*, 09 Februari 2012
- Ritonga, A., 1987, *Statistik Terapan untuk Penelitian*, Lembaga Penerbit FE-UI, Jakarta
- Sitorus, H., 2004, *Kerusakan Lingkungan Oleh Limbah Industri Adalah Masalah Itikad*, Usu, Medan, 09 Februari 2012
- Tjokrodimuljo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Naviri, Yogyakarta
- _____, 2012, *Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen Tekmira, Jakarta.