

KOMPOSISI CAMPURAN *OPTIMUM BOTTOM ASH* DAN *FLY ASH* SEBAGAI AGREGAT BUATAN

Ediantonius Lubis¹, Antoni², Djwantoro Hardjito³

ABSTRAK : Tujuan penelitian ini adalah untuk memanfaatkan sebanyak mungkin limbah batubara terutama *bottom ash* sebagai bahan agregat buatan. komposisi campuran *optimum bottom ash* dan *fly ash* sebagai bahan agregat buatan adalah 1 semen: 3 *fly ash*: 20 *bottom ash* dalam perbandingan berat, kuat tekan agregat buatan pada umur 28 hari adalah 2,45 MPa. Penelitian ini menggunakan metode air di *spray* pada *bottom ash*, sehingga *bottom ash* dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin untuk agregat buatan, jumlah kebutuhan air yang di *spray* sebanyak 25-35% dari berat *bottom ash*. Hasil pengujian *water content* pada agregat buatan dalam keadaan SSD 23,25%. Berat jenis agregat buatan pada komposisi campuran B12F3 sebesar 1672 Kg/m³ dan angka kuat tekan sebesar 3,40 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan uji kuat tekan beton dengan komposisi campuran 1 semen: 1½ pasir: 2½ agregat buatan pada umur 28 hari sebesar 18,37 MPa, berat jenis beton berbahan agregat buatan adalah 2098 Kg/m³.

Kata kunci: *bottom ash*, *fly ash*, *optimum*, agregat buatan, dan beton.

1. PENDAHULUAN

Pemakaian batu bara sebagai sumber energi pada pembangkit tenaga listrik ataupun industri lainnya cukup besar. Penggunaan batu bara tersebut menghasilkan residu sebagai hasil pembakaran berupa *fly ash* dan *bottom ash*. Tahun 2012 PT. PLN menyatakan bahwa kebutuhan batu bara di Indonesia mencapai 35,51 juta ton. Besarnya jumlah residu tersebut menimbulkan masalah terutama dalam proses pembuangannya karena dapat mencemari lingkungan sekitar serta membutuhkan fasilitas pembuangan yang besar. Limbah dari pembakaran batu bara berupa *bottom ash* dan *fly ash* selama ini kebanyakan dijadikan urugan. Untuk itu limbah tersebut mulai diolah sebagai bahan bangunan misalnya sebagai *fly ash cement*, bahan campuran batako, bahan baku lantai keramik dan dapat juga dipakai sebagai material perkerasan jalan.

Pemakaian batu bara sebagai sumber energi pada pembangkit tenaga listrik ataupun industri lainnya cukup besar, sebagai contoh PLTU Paiton yang memasok tenaga listrik Jawa dan Bali membutuhkan 165 ton/jam (± 4000 ton/hari), PT. Tjiwi Kimia menghabiskan ± 1600 ton/hari, PT. Suparma menghabiskan ± 600 ton/hari. Penggunaan batu bara tersebut menghasilkan residu sebagai hasil pembakaran yang jumlahnya cukup besar, Total limbah abu pada PLTU Paiton pada tahun 1997 sebesar 3.812 ton, dan pada PT Suparma sebesar 2.300 ton. Limbah yang dihasilkan dari proses tersebut berupa 80% *fly ash* dan 20% *bottom ash* (Megawati & Saputra, 2000).

Pemanfaatan *bottom ash* dan *fly ash* sebagai bahan tambah dalam campuran beton merupakan salah satu usaha untuk menanggulangi masalah lingkungan, karena *bottom ash* dan *fly ash* merupakan bahan buangan (limbah) yang dapat mengakibatkan pencemaran

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, tonyiii_lubis@yahoo.co.id

² Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Krsiten Petra, antoni@petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra djwantoro.h@petra.ac.id 16

lingkungan. Berdasarkan fakta di atas, dapat kita ketahui bahwa jumlah *bottom ash* yang dihasilkan dari sisa pembakaran juga cukup banyak, meski tak sebanyak *fly ash* akan tetapi apabila dibiarkan menumpuk maka dapat menimbulkan masalah lingkungan yang cukup serius seperti polusi dan air tanah, serta dapat membahayakan kesehatan bagi masyarakat.

Penelitian yang dilakukan oleh Nuciferani tahun 2013 yang berjudul “Uji kualitas pencampuran *bottom ash*, *fly ash*, dan semen dalam berbagai rasio, sebagai upaya mencari bahan pengganti campuran beton”. Pemanfaatan *bottom ash* dan *fly ash* sebagai agregat buatan (*artificial aggregates*) yang merupakan bahan limbah industri dan dibentuk menyerupai gumpalan-gumpalan kecil. Pada penelitian ini penggunaan limbah batu bara (*fly ash/bottom ash*) masih sedikit, yaitu 3 Ba : 1 Fa : 0,5 S, kuat tekan yang dihasilkan pada agregat buatan dan campuran beton masih rendah, yaitu 2,40 MPa pada umur 28 hari. Arumugam et al. (2011) menggiling *bottom ash* hingga halus sebelum mencampurnya ke dalam agregat buatan. Dan ada pula penelitian yang dilakukan oleh Jeong (2009) yang melakukan pencampuran *fly ash* dan *bottom ash*, dibentuk ke dalam cetakan dan dikeringkan dengan suhu tinggi (1050° – 1150°) selama 15-45 menit hingga menjadi agregat buatan.

Penelitian yang berbeda juga dilakukan oleh Aggarwal et al. (2007) dimana *bottom ash* digunakan sebagai pengganti agregat halus dengan persentase 0-50%. Hal yang berbeda dilakukan juga oleh Gallardo (2008) dimana *bottom ash* digunakan sebagai pengganti sebagian pasir dalam pembuatan *hollow concrete blocks*, sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Sruthee (2012) *bottom ash* digunakan untuk meningkatkan kuat tekan beton dengan persentase 10-30% dan yang terakhir adalah Butler and Bradford (1995) *Bottom ash* dan kulit kayu dikombinasikan untuk dijadikan kompos, dimana penelitian ini bertujuan untuk mengurangi biaya pembuangan limbah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat *bottom ash* sebagai bahan agregat buatan, untuk menemukan komposisi campuran yang tepat antara *bottom ash* dan *fly ash* dalam pembuatan agregat buatan, untuk membuat metode campuran yang tepat dan menganalisa sifat agregat buatan yang dihasilkan dari *bottom ash* dan *fly ash*, untuk menganalisa sifat beton dan pengaruh penggantian agregat yang terbuat dari *bottom ash* dan *fly ash* dan untuk menemukan persentase optimum dari *bottom ash* dan *fly ash* sebagai pengganti agregat dalam pembuatan campuran beton.

2. DASAR TEORI

2.1 Agregat

Agregat adalah bahan pengisi yang bersifat pasif, bahan murah yang dicampurkan ke dalam pasta semen sehingga menghasilkan beton dengan volume besar. Kenyataannya bahan pengisi tidak mutlak bersifat pasif karena sifat fisik, kimia dan termal dari bahan tersebut mempengaruhi sifat beton. Dari segi ekonomis lebih menguntungkan jika digunakan campuran beton dengan sebanyak mungkin bahan pengisi dan sedikit mungkin jumlah semen. Namun keuntungan dari segi ekonomis harus diseimbangkan dengan kinerja beton baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras (Neville & Brooks, 1987).

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut. Pada agregat berukuran besar luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan dengan pasta semen menjadi berkurang.

2.2 Klasifikasi Agregat

Berdasarkan Asalnya, agregat digolongkan menjadi :

1. Agregat alam adalah agregat yang menggunakan bahan baku dari batu alam atau penghancurannya. Jenis batuan yang baik digunakan untuk agregat harus keras, kompak, kekal dan tidak pipih.

2. Agregat buatan adalah agregat yang dibuat dengan tujuan penggunaan khusus (tertentu) karena kekurangan agregat alam. Biasanya agregat buatan adalah agregat ringan. Contoh agregat buatan adalah: klinker dan breeze yang berasal dari limbah pembangkit tenaga uap, agregat yang berasal dari tanah liat yang dibakar (*leca = Lightweight Expanded Clay Agregate*), cook breeze berasal dari limbah sisa pembakaran arang, hydite berasal dari tanah liat (shale) yang dibakar pada tungku putar, lelite terbuat dari batu metamorphore atau shale yang mengandung karbon, kemudian dipecah dan dibakar pada tungku vertical pada suhu tinggi.

3. METODE PENELITIAN

Sebelum proses pencampuran beton berbahan agregat buatan dilakukan, maka pembuatan agregat buatan harus dilaksanakan terlebih dahulu. Semua material yang meliputi *fly ash*, *bottom ash*, *superplastizicer* dan semen dihitung berat masing-masing. Setelah proses penimbangan selesai semen dan *fly ash* di campur lalu aduk, kemudian air dan *superplastizicer* di masukkan lalu diaduk sampai membentuk campuran *slurry*, selanjutnya adalah *bottom ash* dalam satu komposisi campuran harus dibagi dalam 3 bagian agar memudahkan dalam proses penyemprotan dan tingkat penyebaran airnya merata, setelah di *spray* dengan air sesuai dengan range 25-35% dari total berat *bottom ash* lalu dimasukkan kedalam adukan *slurry*, lalu diaduk kembali sampai homogen, setelah itu dilakukan pembuatan benda uji kubus 5x5x5cm untuk dilakukan pengujian tes kuat tekan pada umur 28 hari dan pembuatan agregat buatan berupa butiran.

Agregat buatan yang sudah berupa butiran setelah 24 jam dilakukan perawatan dengan cara direndam/disemprot air selama 7 hari, setelah umur 28 hari dilakukan tes kuat tekan dan dicampurkan dalam pembuatan beton berbahan agregat buatan. Proses pembuatan beton berbahan agregat buatan dilakukan sesuai dengan volume pada benda uji kubus 10x10x10 cm. Beton dimasukkan ke dalam cetakan secara bertahap bersamaan dilakukan pemadatan dengan cara di vibro dengan alat getar. Setelah beton selesai dicetak, permukaan beton dirapikan dan cetakan beton dilepas setelah beton berumur 24 jam dan beton dimasukkan ke dalam kolam air dengan suhu ruangan untuk dilakukan perawatan hingga beton diuji tekan pada umur 28 hari.

3.1 Pengujian Agregat Buatan

Pengujian agregat buatan dilakukan antara lain untuk mengetahui kekuatan agregat buatan yang dibuat dengan menggunakan agregat yang terbuat dari *bottom ash* dan *fly ash*, yang terdiri dari beberapa tahap yaitu :

Pengujian bahan digunakan pula untuk mengetahui karakteristik bahan – bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji. Pengujian dilakukan di laboratorium Universitas Kristen Petra dan akan diuji setelah agregat buatan berumur 28 hari. Beberapa pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Pengujian Berat Jenis.

Berat jenis adalah suatu besaran yang spesifik untuk jenis benda dan zat. Berat jenis diperoleh dari berat zat dibagi isi zat. Pemeriksaan ini juga dapat menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat kasar. Pengujian berat jenis dilakukan sesuai dengan SNI 03-1969-1990.

b. Pengujian Kadar Air.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air resapan yang dikandung oleh agregat kasar dan agregat halus yang digunakan untuk perencanaan *mix design*. Pengujian berat jenis dilakukan sesuai dengan Sk SNI M-11-1989-F

c. Pengujian Kuat Tekan.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan agregat buatan berbahan *bottom ash* dan *fly ash*.

3.2 Beton Berbahan Agregat Buatan

Setelah agregat buatan berbahan *bottom ash* dan *fly ash* sudah terbentuk, maka agregat buatan yang menyerupai agregat kasar akan digunakan sebagai bahan campuran beton. Beton yang direncanakan dengan agregat buatan diharapkan memiliki kuat rencana K 125-250 (beton mutu rendah).

a. Pengujian kuat tekan beton.

Metode dalam pengujian ini digunakan untuk menentukan kuat tekan (*compressive strength*) beton dengan benda uji berbentuk silinder atau kubus yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di Laboratorium UK.Petra, sesuai dengan SNI 03-1974-1990.

b. Bidang hancur.

Benda uji dikeluarkan dari cetakan, lalu di kaping sesuai dengan Tata Cara SNI 03-4168-1996, dan uji sesuai metode pengujian SNI 03-1974-1990. Metode bidang hancur pada beton sesuai dengan SNI 03-6429-2000.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisa *water content* dilakukan pada *bottom ash*, untuk mengetahui kadar air dalam *bottom ash* yang berasal dari PLTU Paiton, mengingat sifat *bottom ash* yang absorpsif terhadap air, maka dilakukan pengujian *water content* pada *bottom ash*. Hasil pengujian kadar air asli *bottom ash* PLTU Paiton dengan penghitungan Wc (*Water content*) keadaan asli adalah 0,7 %. Hasil pengujian *water content* pada *bottom ash* ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengujian *Water Content* pada *Bottom Ash* dalam Keadaan Asli

No	Kode Cawan	I. Berat Cawan	II. Berat CWN+BA	III. Berat Cawan + Bottom Ash Kering					Br. BA Kering IV=III-I	BRT air V=II-III	Wc=V/IV x 100%	Wc
				1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	24 Jam				
1	BT.12	15,0	125,55	125,00	124,80	124,80	124,80	124,8	109,8	0,748	0,681	0,699
2	BT.3	14,7	110,25	109,74	109,60	109,60	109,60	109,6	94,9	0,650	0,685	
3	BT.10	14,7	119,25	118,72	118,54	118,50	118,50	118,5	103,8	0,750	0,723	
4	BT.13	15,5	115,11	114,59	114,42	114,40	114,40	114,4	98,9	0,710	0,718	
5	BT.11	14,9	117,30	116,30	116,77	116,60	116,60	116,6	101,7	0,700	0,688	

Pada penelitian ini dilakukan sistem air yang di *spray* pada *bottom ash*, cara ini dilakukan untuk mengukur kebutuhan air yang digunakan pada *bottom ash*, dimana dalam pelaksanaannya dilakukan dengan cara menambahkan air sedikit demi sedikit pada *bottom ash* yaitu dengan cara di *spray* sampai lembab dan dihentikan ketika air yang di *spray* sudah merata, jumlah kebutuhan air 25-35% dari berat *bottom ash*, berikut adalah kode *mix design* dalam pembuatan agregat buatan Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi Campuran Agregat Buatan

No	Variable c: Fa: Ba	Kode Mix Design	Semen (gr)	Fly ash (gr)	Air (gr)	Sp (%/c)	Bottom ash (gr)
1	1:1½:12	B ₁₂ F _{1½}	50	75	33	½	600
2	1:1½:16	B ₁₆ F _{1½}	50	75	33	½	800
3	1:1½:20	B ₂₀ F _{1½}	50	75	33	½	1000
4	1:2:12	B ₁₂ F ₂	50	100	33	½	600
5	1:2:16	B ₁₆ F ₂	50	100	33	½	800
6	1:2:20	B ₂₀ F ₂	50	100	33	½	1000
7	1:3:12	B ₁₂ F ₃	50	150	33	½	600
8	1:3:16	B ₁₆ F ₃	50	150	33	½	800
9	1:3:20	B ₂₀ F ₃	50	150	33	½	1000

Campuran *slurry* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah dengan mencampurkan semen dan *fly ash* secara bersamaan sehingga membentuk adukan *slurry*, berikut tahapan pada campuran *slurry*, semen dan *Fly ash* diaduk sampai homogen dan langsung ditambahkan air dan *superplasticizer*, sehingga menjadi adukan *slurry*, kemudian *bottom ash* dimasukkan setelah terlebih dahulu di *spray* dengan air sebanyak 35% dari berat *bottom ash*, proses pencampuran dilakukan dengan tiga tahapan, tahap 1 dimasukkan 1/3 bagian lalu diaduk, tahap ke 2 dimasukkan lagi 1/3 dan terakhir atau 1/3 sisanya dimasukkan dan diaduk lagi sampai homogen, proses pembuatan agregat buatan berupa butiran dan pembuatan benda uji kubus 5x5x5cm yang di masukkan dalam cetakan dan di vibro dengan alat getar, supaya padat, setelah satu hari agregat buatan di buka dari cetakan dan di curing, pada umur 28 hari agregat buatan di tes kuat tekan. Hasil analisa terhadap metode ini sangat bagus dan sesuai dengan yang diharapkan, dimana proses pembuatannya sangat singkat dan cepat, hal ini terjadi karena adanya adukan *slurry* yang memudahkan proses pelaksanaan dan proses pencampuran lebih merata.

Hasil pengujian *water content* agregat buatan dalam keadaan *ssd* yaitu 18,17-25,21, dimana yang terendah pada *mix design* B12F3 dan yang tertinggi pada *mix design* B16F2, sedangkan pengujian berat jenis (*Gs*) agregat buatan adalah 1,61-1,78, berikut hasil pengujian *water content* dan berat jenis pada agregat buatan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Water Content* Agregat Buatan dalam Keadaan *ssd*

No	Kode <i>Mix Design</i>	<i>Water Content</i> <i>ssd</i>
1	B12F1½	23.50
2	B16F1½	24.06
3	B20F1½	24.10
4	B12F2	23.77
5	B16F2	25.21
6	B12F2	21.14
7	B12F3	18.17
8	B16F3	21.39
9	B20F3	23.25

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis (*Gs*) Agregat Buatan

No	Kode <i>Mix Design</i>	<i>Gs</i> Butiran	<i>Gs</i> Spesimen Kubus
1	B12F1½	1,740	1,712
2	B16F1½	1,620	1,600
3	B20F1½	1,646	1,592
4	B12F2	1,778	1,688
5	B16F2	1,651	1,664
6	B20F2	1,732	1,680
7	B12F3	1,611	1,672
8	B16F3	1,671	1,664
9	B20F3	1,730	1,720

Tabel 5 Hasil Uji Kuat Tekan Agregat Buatan

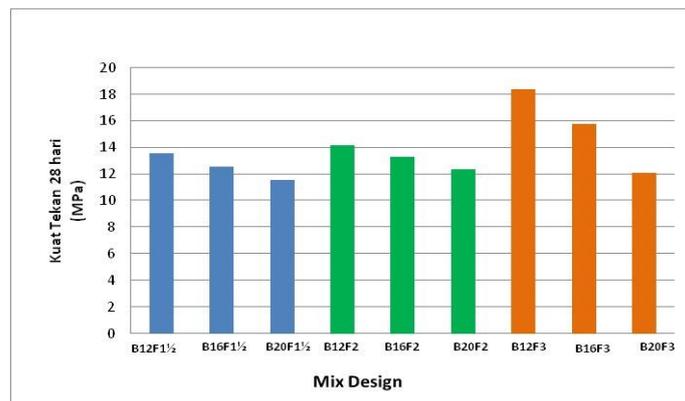
No	Kode Mix Design	Berat Jenis (gr/cm ³)	Gaya (kN)	Kuat tekan 28hr (MPa)	rata-rata (MPa)
1	B12F1½	1,712	8	3,27	2,99
			7	2,86	
			7	2,86	
2	B16F1½	1,600	6	2,45	2,45
			6	2,45	
			6	2,45	
3	B20F1½	1,592	5	2,04	2,04
			5	2,04	
			5	2,04	
4	B12F2	1,688	8	3,27	3,27
			9	3,67	
			7	2,86	
5	B16F2	1,664	7	2,86	2,72
			7	2,86	
			6	2,45	
6	B20F2	1,680	7	2,86	2,31
			5	2,04	
			5	2,04	
7	B12F3	1,672	8	3,27	3,40
			8	3,27	
			9	3,67	
8	B16F3	1,664	8	3,27	2,99
			7	2,86	
			7	2,86	
9	B20F3	1,720	6	2,45	2,45
			6	2,45	
			6	2,45	

Uji beton sangat penting, terutama untuk mengetahui kualitas beton dan dengan mengetahui kualitas maka asas manfaat beton dapat diterapkan dengan benar dan tepat sasaran. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, makin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, makin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Hasil uji kuat tekan rata-rata beton berbahan agregat buatan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa komposisi campuran B12F3 adalah yang tertinggi dengan kuat tekan sebesar 18,3 MPa dan yang terendah adalah komposisi campuran B20F1½ sebesar 11,56 Mpa, B20F2 sebesar 12,35 Mpa dan B20F3 sebesar 12,07. Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton tersebut dapat disimpulkan bahwa komposisi campuran *optimum* agregat buatan adalah 1semen: 20 *bottom ash*, hasil kuat tekan beton berbahan agregat buatan akan menurun dengan semakin bertambahnya *bottom ash* pada agregat buatan, berikut adalah hasil pengujian kuat tekan beton pada Tabel 6 dan Gambar 1.

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan Beton.

No	Kode Mix Design	Berat Jenis (gr/cm ³)	Gaya (kN)	Kuat tekan 28 hr (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	B12F1½	2,085	130	13,27	13,61
			135	13,78	
			135	13,78	
2	B16F1½	2,084	125	12,76	12,59
			125	12,76	
			120	12,24	
3	B20F1½	2,050	115	11,73	11,56
			115	11,73	
			110	11,22	
4	B12F2	2,083	140	14,29	14,18
			137	13,98	
			140	14,29	
5	B16F2	2,097	135	13,78	13,30
			126	12,86	
			130	13,27	
6	B20F2	2,074	125	12,76	12,35
			118	12,04	
			120	12,24	
7	B12F3	2,098	180	18,37	18,37
			175	17,86	
			185	18,88	
8	B16F3	2,091	149	15,20	15,78
			165	16,84	
			150	15,31	
9	B20F3	2,068	110	11,22	12,07
			120	12,24	
			125	12,76	



Gambar 1 Grafik Beton Berbahan Agregat Buatan

Seperti dalam perencanaan penelitian, kualitas beton diharapkan dapat mencapai F_c' 10-20 MPa, namun ternyata pada umur 28 hari mutu beton yang tertinggi mencapai nilai 18,3 MPa yaitu pada *mix design* B12F3. Oleh karena angka tersebut masuk pada *range* kuat tekan yang sudah direncanakan maka penelitian ini telah memenuhi tujuan yang diinginkan. Pada penelitian ini beton berbahan agregat buatan dapat digunakan antara lain pembangunan lantai kerja, seperti ketentuan yang dikemukakan oleh SNI 03-6468-2000, ACI 318, ACI 363R-92.

5. KESIMPULAN

Menurut hasil analisa dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Komposisi campuran *optimum* pada pembuatan agregat buatan adalah 1 semen: 3 *fly ash* : 20 *bottom ash*, dengan hasil kuat tekan agregat buatan pada umur 28 hari adalah 2,45 MPa dan kuat tekan beton dengan komposisi campuran 1 semen: 1½ pasir: 2½ agregat buatan pada umur 28 hari adalah 12,07 MPa.
2. Metode yang digunakan dalam pemanfaatan *bottom ash* sebagai agregat buatan adalah metode air di *spray*, sehingga dengan metode air yang di *spray* menjadikan *bottom ash* dapat dipakai dalam jumlah yang banyak / *optimum*.
3. *Bottom ash* dapat dimanfaatkan sebagai sebagai agregat buatan dengan komposisi campuran perbandingan berat 1 Semen : 3 Fa : 20 Ba dalam pembuatan campuran beton dengan komposisi campuran 1 semen: 1½ pasir: 2½ agregat buatan dan kuat tekan yang dihasilkan 12 MPa pada umur 28 hari, sedangkan komposisi campuran 1 Semen : 3 Fa : 12 Ba, adalah kuat tekan yang tertinggi dalam pembuatan beton dengan komposisi campuran 1 semen: 1½ pasir: 2½ agregat buatan kuat tekan yang dihasilkan sebesar 18,3 MPa pada umur 28 hari, sehingga dapat digunakan sebagai lantai kerja.
4. Dalam proses pembuatan campuran beton, tingkat penyerapan air pada agregat buatan sangat tinggi yaitu 18-25%, jadi harus di *spray* dengan air terlebih dahulu sampai lembab, hal ini dilakukan supaya agregat buatan yang berbahan *bottom ash* tingkat kadar airnya merata, sehingga campuran dalam pembuatan beton benar-benar *homogen*.
5. Semakin banyak *bottom ash* yang akan ditambahkan dalam agregat buatan semakin meningkat daya serap air dan kuat tekan beton yang dihasilkan semakin rendah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ACI committee 226. (1987). *Use of Fly Ash in Concrete*. Detroit : American Concrete Institute.
- Arumugam, K., Ilangovan, R., Manohar, J. D. (2011). A Study of the Characteristics and Use of Pond Ash as Fine Aggregate in Concrete. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 2(2), 466-474.
- Butler, S.H., Bearce, B.C. (1995), Green House Production in Media Containing Coal Bottom Ash, West Virginia University, Morgantown, WV 26505, *Journal Environmental Horticulture*, 13(46), 160-164.
- Jeong, Y. H. (2009), *Manufacturing an Artificial Lightweight Aggregate Containing Bottom Ash*, Ceragreen Co, ltd.
- Megawati T. dan Saputra, H.C.E., (2000), “ *Penggunaan Bottom Ash sebagai Material dalam CLSM (Controlled Low Strength Material)*”, Tugas Akhir Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Nomor 995-S, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Neville, A. M., Brooks, J. J. (1987), *Concrete Technology*, Longman Scientific & Technical, New York.
- Sruthee, P. (2012), Enhancing Compressive Strength of Concrete by Using Bottom Ash, *International Journal of Advanced Scientific Research and Technology* 3(2), 389-391.