

PENGUNAAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI PENGANTI AGREGAT HALUS PADA MORTAR *HVFA*

Aldi Vincent Sulistio¹, Samuel Wahjudi², Djwantoro Hardjito³, dan Antoni⁴

ABSTRAK : *Bottom ash* adalah material limbah PLTU yang melimpah dan kurang dimanfaatkan. Terdapat potensi pemanfaatan *bottom ash* sebagai agregat halus dalam campuran beton. Dalam penelitian ini, *bottom ash* diberi *treatment* ayak dan tumbuk untuk digunakan sebagai pengganti pasir dalam campuran beton. Hal pertama yang dilakukan adalah pengujian karakteristik fisik dan kimiawi dari *bottom ash*. Dilakukan pengujian *water content*, *sieve analysis*, *fineness modulus*, dan berat isi dari pasir dan *bottom ash* yang digunakan. Pengujian kuat tekan dan *flowability* pada mortar *high volume fly ash* (*HVFA*) menggunakan *bottom ash* sesudah diberi *treatment* dibandingkan dengan mortar *HVFA* yang menggunakan pasir. Pengujian tersebut dijadikan tolak ukur untuk mengevaluasi pengaruh penggantian *bottom ash* terhadap pasir. Dari penelitian ini, dapat dievaluasi bahwa perubahan kekuatan dan *flowability* dari mortar dengan 100% penggantian pasir dengan *bottom ash* bervariasi. *Bottom ash* yang diayak dengan halus memberikan penurunan kekuatan dan *flowability* terbanyak, sedangkan *bottom ash* yang ditumbuk memberikan hasil yang bertolak belakang.

KATA KUNCI: *bottom ash*, *treatment*, *high volume fly ash* (*HVFA*), agregat halus, kuat tekan, *flowability*

1. PENDAHULUAN

Beton adalah material konstruksi utama di seluruh dunia. Ada masalah pada beton yaitu bahan utama pembuat beton yang tidak ramah lingkungan. Diperlukan solusi untuk meningkatkan *sustainability* dari struktur beton, salah satunya adalah pada bahan mentah beton itu sendiri. Beton yang dikembangkan, diproduksi, dan digunakan secara ramah lingkungan disebut “*Green Concrete*” (Proske, Hainer, Rezvani, & Graubner, 2013).

Fly ash dan *bottom ash* adalah sisa pembakaran batu bara yang berasal dari PLTU. *Fly ash* adalah material dengan ukuran partikel 0,5–150 μm dengan partikel berbentuk bola (*spherical*), namun juga terdapat beberapa partikel yang bentuknya tidak teratur. Material ini adalah material *pozzolanic* yang berarti dapat digunakan sebagai pengganti semen. *Fly ash* dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan komposisi kimianya, yaitu tipe C dan tipe F (Ramezaniapour, 2014). *Fly ash* sudah mulai digunakan terutama pada beton *high volume fly ash* (*HVFA*) untuk industri konstruksi demi *sustainability* dari beton itu sendiri, namun penggunaan *fly ash* dalam beton masih sedikit, dan pembuangan *fly ash* yang aman telah menjadi masalah yang bertumbuh di dunia (Deo, 2015). Ukuran partikel yang kecil dan bentuk partikel *fly ash* yang bulat mempengaruhi *flow* dari pasta semen, mengakibatkan berkurangnya kadar air yang diperlukan, atau meningkatnya *workability* dibandingkan dengan pasta semen tanpa *fly ash* (Sugiharto, Kusuma, Himawan, & Darma, 2001). Beton *HVFA* merupakan beton dengan kandungan *fly ash* minimal 50% dari material *cementitious* yang digunakan, kadar airnya rendah (130 kg/m^3), serta *w/c* yang rendah pula (<0.4) (Reiner & Rens, 2006).

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, aldi.vincent@gmail.com

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

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

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, antoni@petra.ac.id

Untuk penggunaan *bottom ash* sendiri masih terdapat beberapa halangan, salah satunya adalah bentuk partikel *bottom ash* yang tidak teratur dan kasar (Kim & Lee, 2011). Selain itu ada pengaruh pemakaian *bottom ash* terhadap campuran beton antara lain adalah berkurangnya kekuatan beton, meningkatnya penyerapan air dan menurunnya densitas (Kim & Lee, 2013). *Bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih besar dari *fly ash* dan memiliki permukaan yang kasar sehingga satu sama lain mudah terkunci dan menurunkan *workability* campuran. Selain itu, material ini juga berpori sehingga menyerap banyak air dan menyebabkan peningkatan kebutuhan air. *Bottom ash* bisa diberi *treatment* berupa penggilingan lalu diayak untuk memperkecil ukuran sehingga dapat mengurangi pemakaian air dan mengurangi rongga udara (Kim, 2015), namun proses penggilingan membutuhkan banyak energi serta biaya.

Pemanfaatan *bottom ash* di Indonesia masih jarang, dikarenakan oleh bentuk partikelnya yang tidak beraturan, relatif besar, serta *porous*. Selain itu, di PLTU Paiton sendiri belum ada yang pernah melakukan penelitian *bottom ash* sebagai campuran di dalam beton. Banyak *bottom ash* yang dihasilkan oleh PLTU contohnya oleh Paiton hanya menumpuk dan mengakibatkan dampak yang buruk bagi lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan menggabungkan dan menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan (Kim & Lee, 2011; Kim, 2015; Singh & Siddique, 2015), yaitu dengan meneliti beton *HVFA* dengan menggunakan *bottom ash* sebagai pengganti pasir.

Penelitian ini menggunakan mortar *HVFA* sebagai benda uji untuk mengevaluasi pengaruh *bottom ash* pada beton *HVFA*. Campuran mortar yang diteliti ditujukan untuk memanfaatkan *fly ash* dan *bottom ash* dengan maksimal serta juga dengan meminimalkan penggunaan semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan *bottom ash* setelah diberi *treatment* pada campuran beton dengan membandingkan kekuatan tekan dan *flowability* dari campuran tersebut dengan campuran yang menggunakan pasir Lumajang.

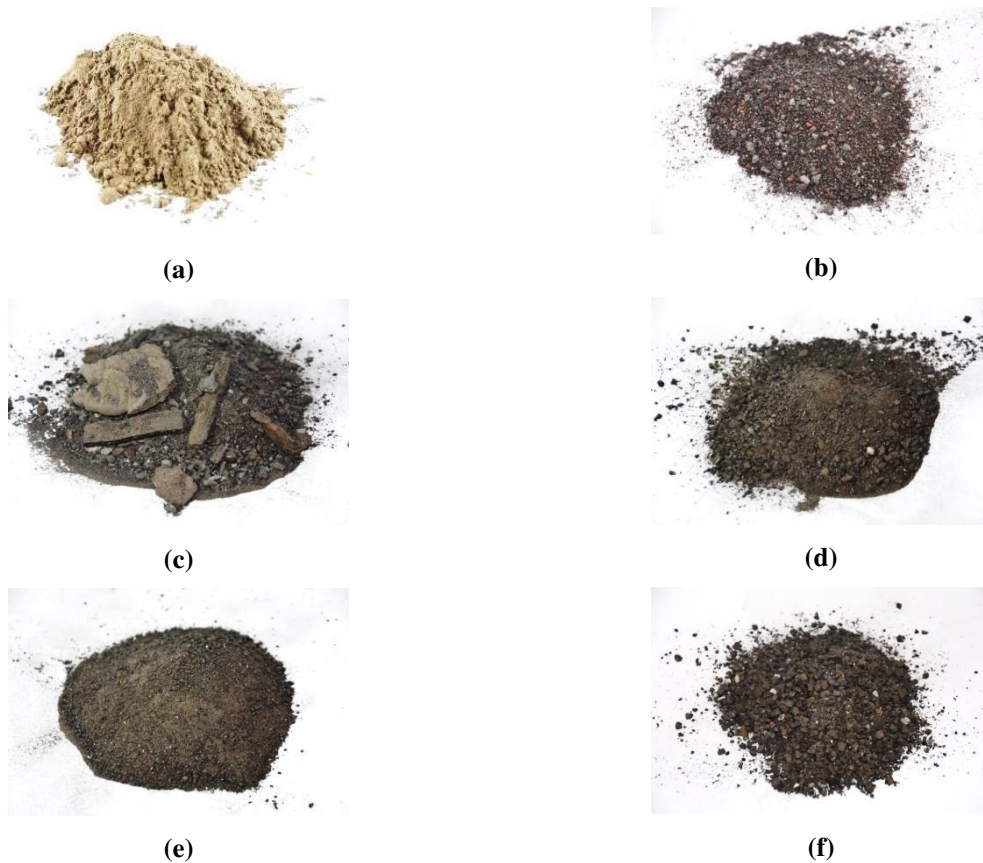
2. RANCANGAN PENELITIAN

2.1. Material

Cementitious material yang digunakan adalah semen *PPC* produksi PT. Semen Gresik dan *fly ash* tipe C. Untuk agregat halus digunakan pasir dalam keadaan *saturated surface dry (SSD)* dan *bottom ash* dengan *water content* 2%. *Fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan berasal dari PT. YTL di kompleks PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. *Fly ash* yang digunakan memiliki pH sebesar 11,8, diperoleh dari pengetesan pH dengan standar ASTM D5239-12.

Bottom ash yang diperoleh dari PT. YTL dinamakan *raw bottom ash (RBA)* dimasukkan oven hingga menjadi keadaan *oven dry (OD)*, lalu diayak menjadi *coarse bottom ash (CBA)* dengan ukuran partikel 0–5 mm dan *fine bottom ash (FBA)* dengan ukuran partikel 0–2,36 mm. *Bottom ash* yang tidak lolos dari ayakan 5 mm berikutnya ditumbuk selama 5 menit dan yang tidak lolos ditumbuk ulang hingga semua partikel lolos dari ayakan 5 mm, yang diberi nama *pounded bottom ash (PBA)*. Bentuk partikel dari *fly ash*, pasir, dan *bottom ash* dapat dilihat pada **Gambar 1**, sedangkan hasil pengujian *XRF* dari *fly ash* dan *bottom ash* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Hasil pengujian *water content* untuk keadaan *SSD*, *fineness modulus*, dan berat isi dari pasir dan *bottom ash* tersaji pada **Tabel 2** dan hasil analisa gradasi dapat dilihat pada **Gambar 2**. Air yang digunakan adalah air aquades *demineralized* (aqua *DM*) dengan pH 7 dan *superplasticizer (SP)* yang digunakan adalah tipe *polycarboxylate ether* merk Sika Viscocrete 1003. Dapat dianalisa bahwa *bottom ash* yang sudah diberi *treatment* memiliki bentuk partikel yang lebih menyerupai pasir Lumajang. Dari hasil analisa *water content*, *FBA* memiliki *water content* paling rendah, yaitu 1,4257% dikarenakan oleh ukuran partikelnya yang kecil. *Fineness modulus* dari *RBA* merupakan yang paling tinggi dikarenakan oleh ukuran partikelnya yang jauh lebih besar daripada material lainnya. Dari analisa berat isi diperoleh bahwa *PBA* memiliki berat isi yang paling besar, yaitu 1706,67 Kg/m³ bahkan melebihi pasir dengan berat isi 1629,33 Kg/m³. Hal ini dikarenakan oleh partikel *pounded bottom ash* memiliki gradasi yang baik, sehingga partikelnya dapat saling mengisi satu sama lain dengan baik, dan rongga udara antar partikel dapat diminimalkan. Hasil analisa gradasi ayakan pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa *PBA* memiliki gradasi yang paling baik, oleh karena gradasi yang baik, *fineness modulus* dari *PBA* lebih tinggi dari pada pasir, *CBA*, dan *FBA*.



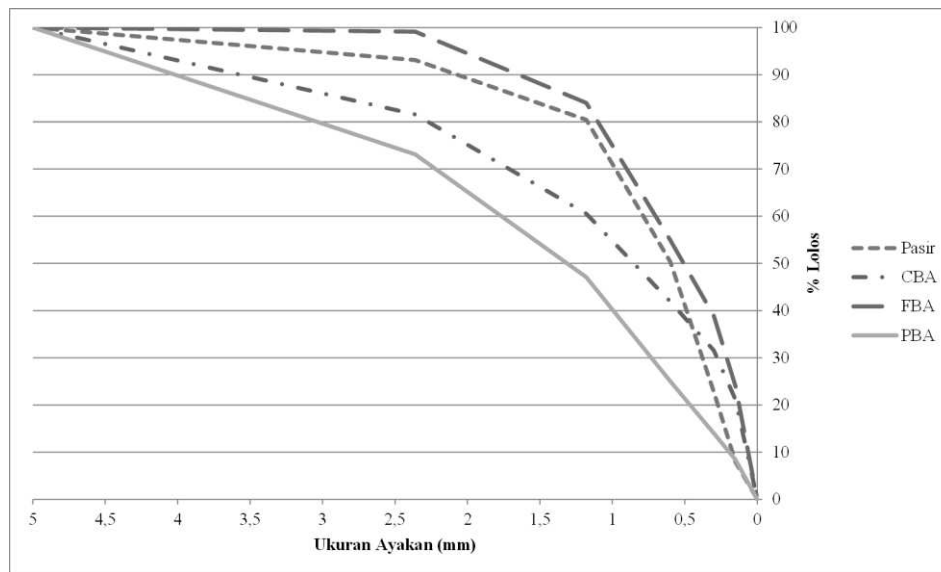
Gambar 1. (a) *Fly Ash*, (b) *Pasir*, (c) *RBA*, (d) *CBA*, (e) *FBA*, dan (f) *PBA*

Tabel 1. Hasil XRF *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Komponen	<i>Fly Ash</i> , Kandungan (%)	<i>Bottom Ash</i> , Kandungan (%)	Standar Pengujian
SiO ₂	34,29	34,39	ASTM D4326-11
Al ₂ O ₃	16,62	10,02	ASTM D4326-11
Fe ₂ O ₃	15,38	18,41	ASTM D4326-11
TiO ₂	0,73	0,65	ASTM D4326-11
CaO	18,18	21,16	ASTM D4326-11
MgO	7,52	9,70	ASTM D4326-11
K ₂ O	1,35	0,90	ASTM D4326-11
Na ₂ O	2,97	0,24	ASTM D4326-11
SO ₃	1,63	0,66	ASTM D4326-11
MnO ₂	0,17	0,22	ASTM D4326-11
P ₂ O ₅	0,25	-	ASTM D4326-11
<i>L O I</i>	0,36	3,54	ASTM D7348-13

Tabel 2. Hasil Tes *Water Content*, *Fineness Modulus*, dan Berat Isi Material

Material	<i>Water Content</i>	<i>Fineness Modulus</i>	Berat Isi
Pasir	0,4107	2,454	1629,33
CBA	1,8108	2,633	1381,33
FBA	1,4257	1,991	1328,00
PBA	1,8176	3,323	1706,67
RBA	-	3,884	1476,96



Gambar 2. Grafik Perbandingan Gradasi Material

2.2. Komposisi Campuran

Komposisi campuran yang digunakan untuk membuat mortar *HVFA* dapat dilihat pada **Tabel 3**. Pada penelitian ini mortar *HVFA* dibuat sebanyak 4 bekisting, yang dimana pada 1 bekisting berisi 3 buah spesimen berukuran 5 x 5 x 5 cm³. Nama spesimen CTRL merupakan spesimen pembanding yang menggunakan pasir Lumajang sebagai agregat halusnya. Huruf awalan “C”, “F”, dan “P” menunjukkan tipe *bottom ash* yang dipakai, “C” untuk *coarse*, “F” untuk *fine*, dan “P” untuk *pounded*. Angka “100”, “080”, dan “050” menandakan presentase (%) massa dari penggantian *bottom ash* terhadap pasir. Perbandingan massa semen *PPC* dan *fly ash* dalam semua komposisi *cementitious* adalah 1:1. Akhiran “-2”, “-2,5”, dan “-1,5” menunjukkan perbandingan massa *cementitious* dan agregat halus dari spesimen berturut-turut sebesar 1:2, 1:2,5, dan 1:1,5.

Water to cementitious ratio (w/c) dari semua spesimen yang dibuat adalah 0,325. Sedangkan penambahan *superplasticizer (SP)* dilakukan sesuai kebutuhan, yaitu untuk mencapai *flow diameter* 14±2 cm. Presentase dari *SP* adalah presentase massa *cementitious*, yang berikutnya dikonversi dalam satuan *millimeter*. Kuat tekan dari mortar dianalisa pada saat mortar berumur 3, 7, 14, dan 28 hari.

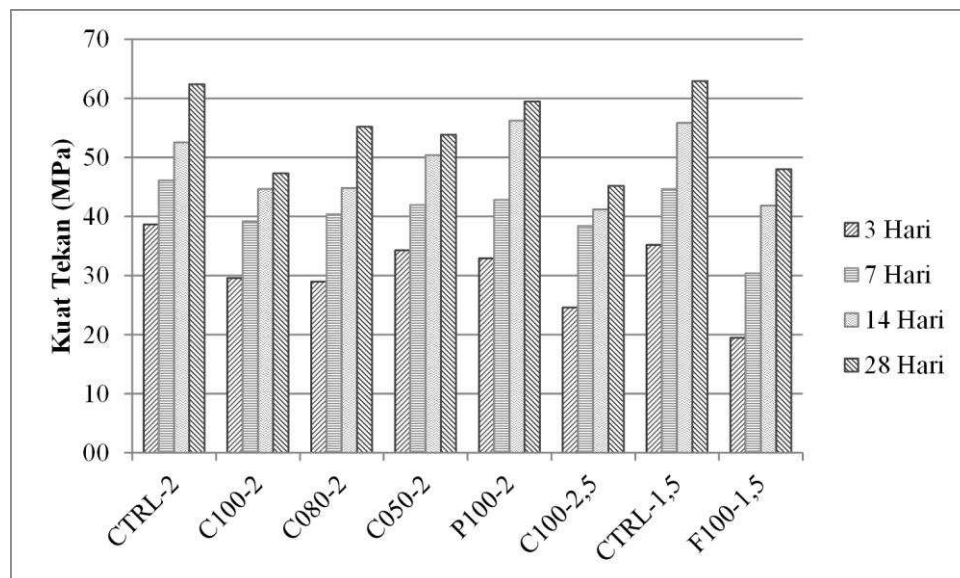
Tabel 3. Komposisi Campuran

Nama	Semen (kg/m ³)	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	<i>CBA</i> (kg/m ³)	<i>FBA</i> (kg/m ³)	<i>PBA</i> (kg/m ³)	w/c	SP (%)
CTRL-2	400	400	1600	0	0	0	0,325	0
C100-2	400	400	0	1600	0	0	0,325	0,7
C080-2	400	400	320	1280	0	0	0,325	0,3
C050-2	400	400	800	800	0	0	0,325	0
F100-2	400	400	0	0	1600	0	0,325	2
P100-2	400	400	0	0	0	1600	0,325	0
C100-2,5	342,5	342,5	0	1715	0	0	0,325	1,8
F100-1,5	480	480	0	0	1440	0	0,325	0,6
CTRL-1,5	480	480	1440	0	0	0	0,325	0

3. HASIL PENGUJIAN DAN DISKUSI

3.1. Kuat Tekan

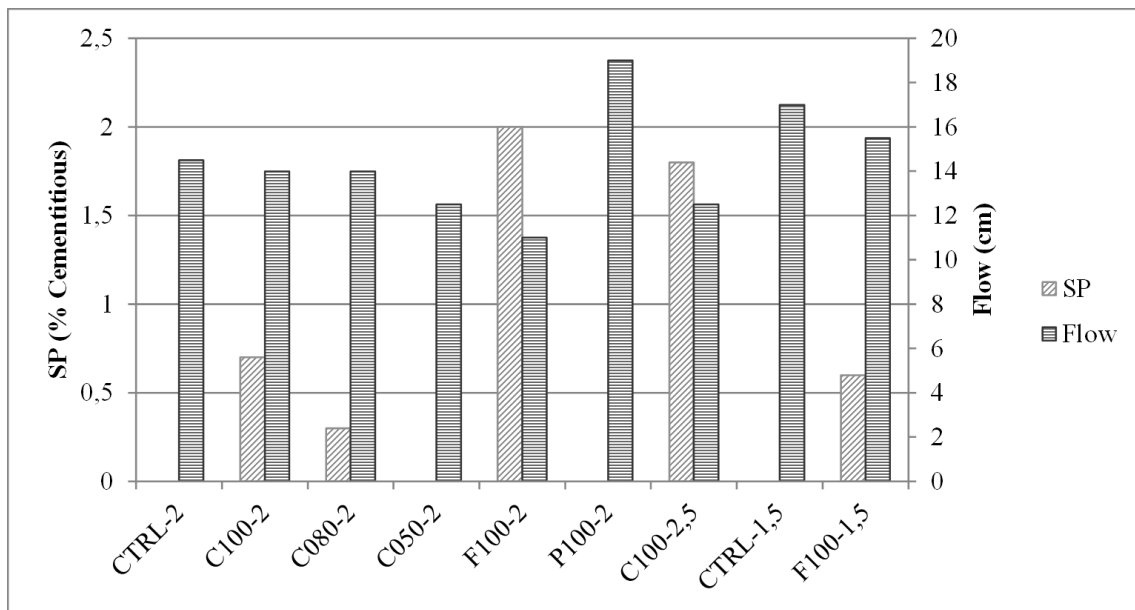
Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan kuat tekan dari seluruh komposisi campuran. Data yang didapat menunjukkan grafik perkembangan kekuatan dari seluruh komposisi cukup seragam. Pada komposisi C100-2, C080-2, dan C050-2, semakin banyak penggantian pasir dengan *bottom ash* berarti kekuatan yang dihasilkan semakin rendah, menjadi sekitar 75% dari komposisi CTRL-2 untuk penggantian 100% pasir dengan *coarse bottom ash*. Komposisi C100-2,5 dibuat untuk memaksimalkan penggunaan *bottom ash* dan pada umur 28 hari memiliki kekuatan tekan yang kurang lebih sama dengan mortar C100-2, namun dengan *flow diameter* yang lebih kecil dan penambahan SP yang lebih banyak. Tidak ada data kuat tekan untuk komposisi F100-2 dikarenakan benda uji yang langsung hancur ketika bekisting dilepaskan sehingga dibuatlah komposisi F100-1,5 yang dibandingkan dengan komposisi CTRL-1,5. Komposisi P100-2 memiliki kuat tekan yang tinggi, hampir sama dengan mortar CTRL-2 karena material dari *PBA* memiliki gradasi yang baik, sehingga kepadatan yang diperoleh maksimal. Kuat tekan dari komposisi F100-1,5 umur 28 hari adalah sekitar 75% dari mortar pembandingnya, CTRL-1,5.



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Mortar HVFA

3.2. Flowability

Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan *flow diameter* dan pemakaian *SP* dari setiap komposisi campuran. Penggunaan *bottom ash* umumnya menyebabkan penurunan *flowability* berupa penambahan *SP* untuk mencapai *flow diameter* yang sama dengan komposisi pembandingnya. Mortar segar dengan material *PBA* memiliki *flowability* yang lebih tinggi daripada pasir Lumajang karena *fineness modulus* dari *PBA* yang lebih tinggi. Berbeda dengan *PBA*, *FBA* memiliki *fineness modulus* yang rendah sehingga memiliki *flowability* yang rendah pula, ditunjukkan dengan pemakaian *SP* yang banyak tetapi tidak bisa mencapai target *flow diameter* antara 12–16 cm. Komposisi dengan *flowability* yang rendah menghasilkan benda uji yang memiliki rongga udara pada permukaannya, sementara material dengan *flowability* yang lebih tinggi akan menghasilkan benda uji dengan permukaan yang halus, perbandingan dari kedua benda uji tersebut ditunjukkan pada **Gambar 5**.



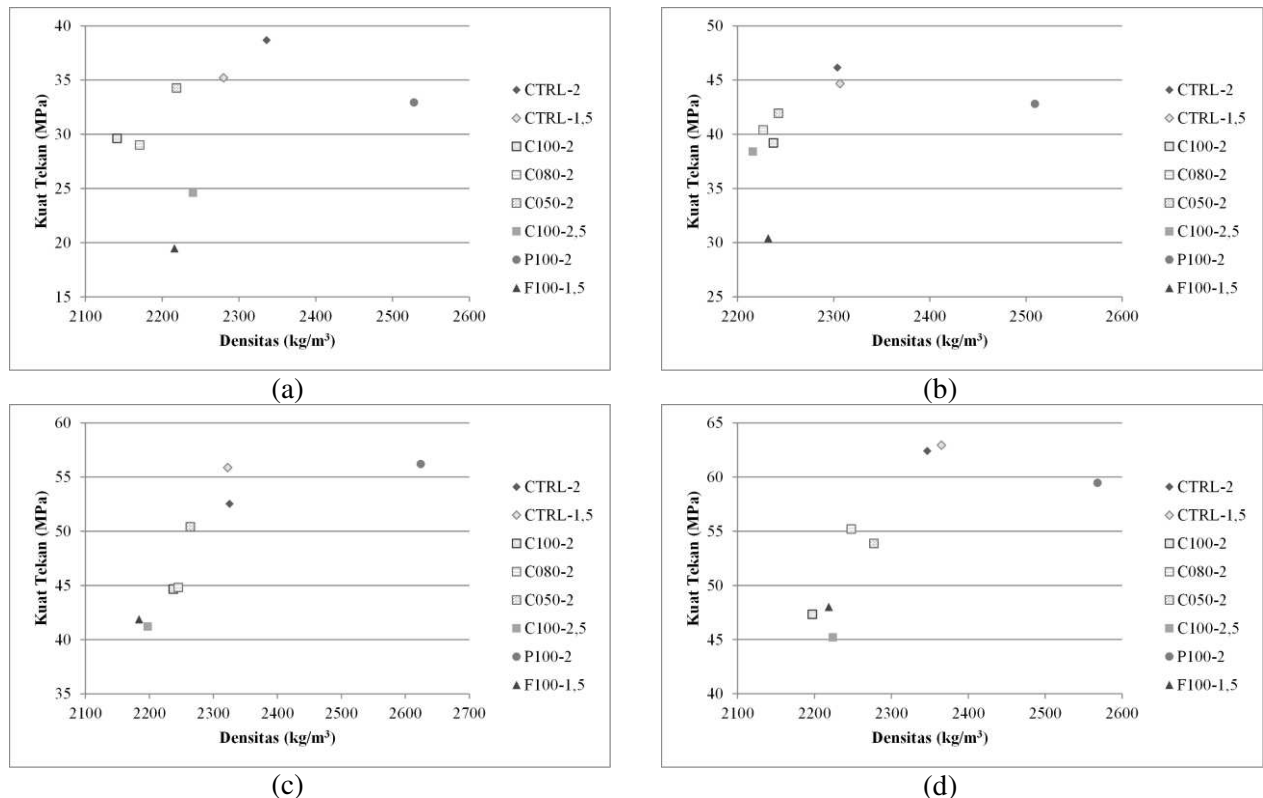
Gambar 4. Perbandingan *Flow Diameter* dan Pemakaian *SP* Mortar Segar



Gambar 5. Benda Uji (a) C100-2,5 dan (b) CTRL-2

3.3. Korelasi Densitas Mortar dengan Kuat Tekan

Korelasi dilakukan dengan menghubungkan variabel densitas dari setiap spesimen komposisi campuran dan kuat tekannya masing – masing pada suatu umur pengujian. Digunakan satuan kg/m^3 untuk densitas dari mortar dan satuan MPa untuk kuat tekan dari mortar. **Gambar 6** menunjukkan perbandingan korelasi pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari secara berturut – turut. Dari garis *trendline* dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi densitas dari mortar, semakin tinggi pula kuat tekan yang diperoleh.



Gambar 6. Korelasi Densitas dengan Kuat Tekan pada Umur (a) 3, (b) 7, (c) 14, dan (d) 28 Hari

4. KESIMPULAN

Pemberian *treatment* ayak dan tumbuk pada *bottom ash* dan penggunaannya pada campuran mortar HVFA telah dilakukan dan didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Berat isi *coarse bottom ash* dan *fine bottom ash* lebih ringan dibandingkan pasir, sebesar 84,78% dan 81,51% berturut-turut. Sedangkan *pounded bottom ash* memiliki berat isi 4,75% lebih berat daripada pasir Lumajang karena gradasi ukuran partikel yang baik sehingga dapat saling mengisi celah antar partikelnya.
2. *Water content SSD* dari *coarse* dan *pounded bottom ash* cukup tinggi, sekitar 4,5 kali lipat dari pasir Lumajang. *Fine bottom ash* memiliki *water content SSD* sebesar 3,5 kali lipat dari *water content SSD* Pasir Lumajang. Hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan air dalam pengecoran, yang dapat menyebabkan menurunnya kuat tekan dari mortar. Tetapi, penurunan yang terjadi tidak signifikan dan dapat diminimalisir lebih lanjut dengan mengatur gradasi dari *bottom ash* yang digunakan.
3. Dengan penggantian 100% *coarse* dan *fine bottom ash* (C100-2 dan F100-1,5), kuat tekan dari mortar adalah sekitar 75% dari kekuatan tekan mortar kontrolnya masing-masing (CTRL-2 dan CTRL-1,5), yang menggunakan 100% pasir Lumajang untuk agregat halus. Namun pada komposisi campuran P100-2, kuat tekan yang diperoleh hampir sama, hanya memiliki selisih 3 MPa (4,65 %) pada umur 28 hari apabila dibandingkan dengan komposisi kontrolnya (CTRL-2), hal ini terjadi dikarenakan gradasi dari partikel PBA yang baik, sehingga kepadatan yang diperoleh maksimal, yang berarti kekuatan tekan meningkat.
4. Terdapat pengurangan *flowability* mortar segar dengan *coarse* dan *fine bottom ash* ditunjukkan dengan perlunya penambahan *superplasticizer* untuk mencapai *flow diameter* yang ditetapkan. Namun, terdapat peningkatan *flowability* pada mortar segar dengan *pounded bottom ash* dibandingkan dengan mortar pasir Lumajang. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa gradasi dari *bottom ash* yang digunakan dalam campuran mortar HVFA penting untuk diperhatikan.

5. DAFTAR REFERENSI

- ASTM D4326-11, *Standard Test Method for Major and Minor Elements in Coal and Coke Ash By X-Ray Fluorescence*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org
- ASTM D5239-12, *Standard Practice for Characterizing Fly Ash for Use in Soil Stabilization*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org
- ASTM D7348-13, *Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion Residues*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org
- Deo, S. V. (2015). Mix Design Approach for High 28 Days' Strength, High-Volume, Low-lime Fly Ash Concrete. *Road Materials and Pavement Design*, 16(3), 707–715. <http://doi.org/10.1080/14680629.2015.1026381>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.017>
- Kim, H. K., & Lee, H. K. (2011). Use of Power Plant Bottom Ash as Fine and Coarse Aggregates in High-strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 25(2), 1115–1122. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.065>
- Kim, H. K., & Lee, H. K. (2013). Effects of High Volumes of Fly Ash , Blast Furnace Slag , and Bottom Ash on Flow Characteristics , Density , and Compressive Strength of High-Strength Mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(May), 662–665. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000624](http://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000624)
- Proske, T., Hainer, S., Rezvani, M., & Graubner, C. (2013). Eco-friendly Concretes with Reduced Water and Cement Contents — Mix design principles and laboratory tests. *Cement and Concrete Research*, 51, 38–46. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.04.011>
- Ramezaniapour, A. A. (2014). *Cement Replacement Materials* (1st ed.). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-36721-2>
- Reiner, M., & Rens, K. (2006). High-Volume Fly Ash Concrete: Analysis and Application. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 11(February), 58–64. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2006\)11:1\(58\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2006)11:1(58))
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.001>
- Sugiharto, H., Kusuma, G. H., Himawan, A., & Darma, D. S. (2001). Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete pada Self Compacting Concrete. *Dimensi Teknik Sipil*, 3(1), 30–35.