

PENGGUNAAN *BOTTOM ASH* YANG TELAH DIOLAH UNTUK PEMBUATAN BETON *HVFA* MUTU MENENGAH

Yohanes Christian¹, Andry Wirananda², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : *Bottom ash* merupakan limbah pembakaran batu bara dari PLTU. Di Indonesia pemanfaatan *bottom ash* sebagai material konstruksi belum maksimal. Terdapat potensi penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus pada beton. Dalam penelitian ini, *bottom ash* akan diberikan *treatment* ayak dan tumbuk sebelum digunakan sebagai pengganti agregat halus pada beton *high volume fly ash (HVFA)*. Pengujian awal dilakukan dengan menguji karakteristik dari pasir Lumajang dan *bottom ash* yang akan dipakai seperti *water content*, analisa ayakan, dan *fineness modulus*. Pengujian kuat tekan dan *slump test* dilakukan pada beton *HVFA* yang menggunakan pasir Lumajang dibandingkan dengan beton *HVFA* yang menggunakan *bottom ash* yang telah diberi *treatment*. Dari penelitian ini, didapatkan hasil bahwa semakin banyak persentase penggantian pasir Lumajang dengan *bottom ash* maka semakin banyak pula penurunan kekuatan dan *workability* dari beton *HVFA*. Penurunan *workability* dapat diatasi dengan memberikan *treatment* penumbukan pada *bottom ash*.

KATA KUNCI : *bottom ash*, *treatment*, beton *high volume fly ash (HVFA)*, kuat tekan, *workability*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material utama dalam dunia konstruksi yang terbuat dari campuran semen, agregat, dan air. Di jaman sekarang ini hampir semua konstruksi bangunan menggunakan beton konvensional yang memiliki banyak permasalahan. Salah satunya yaitu bahan material yang terbatas seperti semen dan pasir. Agar dapat mengurangi dampak penggunaan semen dan pasir pada beton serta mengatasi keterbatasan material dibutuhkan bahan pengganti yang lebih ramah lingkungan.

Fly ash dan *bottom ash* adalah abu limbah pembakaran batu bara pada PLTU. Abu yang diambil dari dasar tungku disebut *bottom ash*, sedangkan yang terangkat ke atas oleh gas pembakaran disebut *fly ash* (Aggarwal & Siddique, 2014). *Fly ash* umumnya berbentuk bulat (*spherical*), berdiameter antara 1 μm hingga 150 μm dipengaruhi oleh jenis alat pengumpul debu yang dioperasikan. *Fly ash* dapat dibagi menjadi 2 jenis umum, yaitu tipe C dan F (Ramezaniapour, 2014). Beton *HVFA* merupakan beton yang mengandung minimal 50% *fly ash*, memiliki *water content* rendah (130 kg/m^3), kadar semen kurang dari 200 kg/m^3 , dan *water-cement ratio* yang rendah ($< 0,4$) (Reiner & Rens, 2006). Beton *HVFA* memiliki kadar *water content* yang rendah sehingga *water reducer (superplasticizer)* digunakan untuk mendapatkan *workability* yang diinginkan. Beton *HVFA* dapat mencapai kekuatan tekan dan tarik yang setara bahkan lebih tinggi ketika dibandingkan dengan beton konvensional (Kumar, Tike, & Nanda, 2007).

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, yohanescb@petra.ac.id

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, andryraharjo2708@petra.ac.id

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

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

Bottom ash mempunyai sifat pozzolan yang cocok digunakan dalam pembuatan beton. Beton yang menggunakan *bottom ash* dengan kalsium rendah sebagai pengganti agregat halus lebih stabil dan lebih memiliki ketahanan terhadap penetrasi ion klorida daripada beton tanpa *bottom ash* (Singh & Siddique, 2015). Penggunaan *bottom ash* sebagai material konstruksi masih memiliki banyak hambatan. Salah satu hambatan dari penggunaan *bottom ash* adalah bentuk partikel *bottom ash* yang kasar sehingga cenderung saling mengikat satu sama lain yang menyebabkan berkurangnya *workability*. Selain itu *bottom ash* memiliki permukaan pori-pori yang cukup besar sehingga menyebabkan penyerapan air cukup besar. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas dari campuran akibat dari peningkatan *water content* (Kim, 2015). Untuk mengatasi permasalahan terkait dengan bentuk partikel *bottom ash* tersebut, *treatment* yang dapat dilakukan di antaranya adalah mengurangi ukuran partikel dengan penggilingan dan pengayakan pada *bottom ash*. Tujuan dari *treatment* ini adalah agar dapat mengurangi pori-pori dan ukuran partikel yang dengan kata lain mengurangi penggunaan air serta meningkatkan *workability* sehingga meningkatkan efektivitas penggunaan dari *bottom ash* tersebut (Kim, 2015).

Pemanfaatan *bottom ash* di Indonesia sendiri dikarenakan bentuk partikelnya yang kasar dan porous, serta penurunan kekuatan dan *workability* yang akibat penggunaan *bottom ash*. Di PLTU Paiton sendiri *bottom ash* hanya digunakan sebagai bahan pembuatan paving block dan belum ada upaya penggunaan *bottom ash* sebagai campuran dalam beton. Untuk itu, dilakukan penelitian dengan menggabungkan dan mengembangkan penelitian sebelumnya (Wahyudi & Vincent, 2016; Kim, 2015; Kim & Lee, 2011; Singh & Siddique, 2015), yaitu menggunakan *bottom ash* yang telah diberi *treatment* sebagai pengganti agregat halus pada beton *HVFA*. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh penggunaan *bottom ash* yang diberi *treatment* terhadap kuat tekan dan *workability* beton *HVFA* untuk memanfaatkan *fly ash* dan *bottom ash* secara maksimal sebagai material pembuatan beton.

2. RANCANGAN PENELITIAN

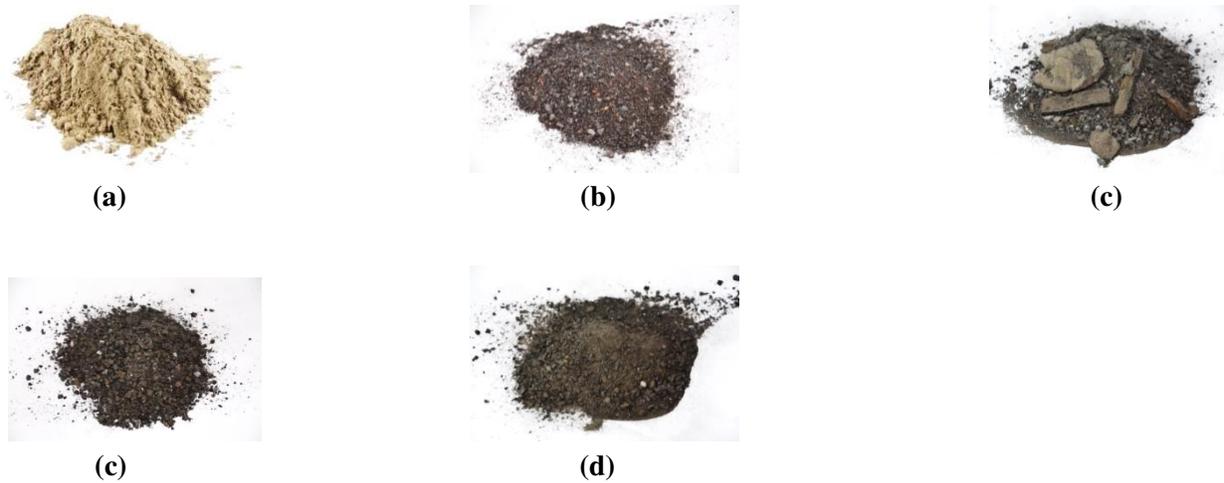
2.1 Material

Cementitious material yang digunakan adalah semen *PPC* produksi PT. Semen Gresik dan *fly ash* tipe C dari PT. YTL di PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Agregat halus digunakan pasir Lumajang dan *bottom ash* dari PT. YTL di PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Pasir Lumajang dikondisikan dalam keadaan *saturated surface dry (SSD)* sebelum digunakan sedangkan *bottom ash* dengan *water content* 3%. *Fly ash* yang digunakan memiliki pH sebesar 11.8, diperoleh dari pengetesan pH berdasarkan ASTM D5239-12.

Bottom ash yang diambil dari PT. YTL dinamakan *raw bottom ash (RBA)* dimasukkan ke dalam oven hingga mencapai kondisi *oven dry*, kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 5 mm dinamakan *sieved bottom ash (SBA)* yang memiliki ukuran partikel 0-5 mm. *Bottom ash* yang tidak lolos ayakan 5 mm kemudian ditumbuk secara manual selama 5 menit kemudian disaring kembali dan yang tidak lolos ditumbuk ulang dengan *bottom ash* berikutnya hingga semua partikel lolos dari ayakan 5 mm, diberi nama *pounded bottom ash (PBA)*. Bentuk partikel *fly ash*, pasir Lumajang, dan *bottom ash* dapat dilihat pada **Gambar 1**, sedangkan hasil pengujian *XRF (X-Ray Fluorescence)* *fly ash* dan *bottom ash* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Hasil pengujian *water content* pada kondisi *SSD* dan *fineness modulus* untuk pasir Lumajang dan *bottom ash* dapat dilihat pada **Tabel 2** dan analisa ayakan dapat dilihat pada **Gambar 2**. Air yang digunakan adalah air aquades *demineralized (Aqua DM)* dengan pH 7 dan *superplasticizer (SP)* yang di gunakan adalah tipe *polycarboxylate ether* merek *Viscocrete 1003* dari PT. Sika. Dari analisa *water content*, *SBA* dan *PBA* memiliki *water content* lebih tinggi dari pasir Lumajang dikarenakan *bottom ash* memiliki banyak rongga udara sehingga membutuhkan lebih banyak air untuk mendapai kondisi *SSD*. Dari hasil tes ayakan, *Pounded Bottom Ash (PBA)* memiliki hasil paling baik karena partikelnya terdistribusi dengan baik. *Finenes modulus* dari *PBA* adalah yang paling tinggi, dikarenakan oleh ukuran partikel yang terdistribusi dengan baik. Sedangkan untuk *Sieved Bottom Ash (SBA)* ukuran partikelnya lebih seragam

sehingga menimbulkan *fineness modulus* yang lebih rendah dan hampir sama dengan *fineness modulus* dari pasir Lumajang.



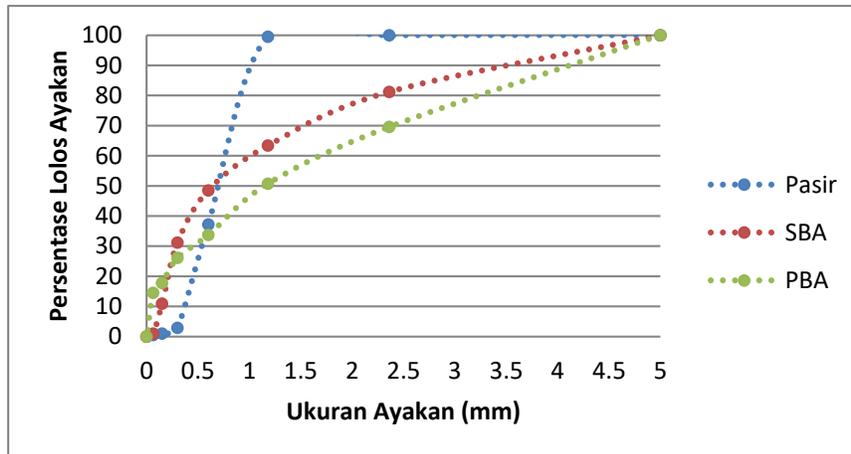
Gambar 1. (a) Fly Ash, (b) Pasir, (c) RBA, (d) SBA, (e) PBA

Tabel 1. Hasil XRF Fly Ash dan Bottom Ash

Komponen	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	L O I
<i>Fly Ash (%)</i>	34.29	16.62	15.38	0.73	18.18	7.52	1.35	2.97	1.63	0.17	0.25	0.36
<i>Bottom Ash (%)</i>	34.39	10.02	18.41	0.65	21.16	9.7	0.9	0.24	0.66	0.22	-	3.54

Tabel 2. Hasil Tes Water Content dan Fineness Modulus Material

Material	<i>Water Content</i>	<i>Fineness Modulus</i>
Pasir	0.5	2.59
SBA	2.9	2.65
PBA	3	3.02



Gambar 2. Grafik Gradasi Material

2.2. Komposisi Campuran

Komposisi campuran beton *HVFA* per meter kubik dapat dilihat pada **Tabel 3**. Pada penelitian ini beton *HVFA* dibuat 15 spesimen berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ untuk setiap mix designnya. *Cementitious material* di semua komposisi campuran adalah semen dan *fly ash* dengan perbandingan massa 1:1. Jumlah air dan *superplasticizer (SP)* yang dipakai berasal dari presentase massa *cementitious material*. Penamaan “SBA (*Sieved Bottom Ash*)” dan “PBA (*Pounded Bottom Ash*)” menunjukkan material *bottom ash* yang dipakai, diikuti dengan tiga digit angka yang menunjukkan presentase substitusi massa pasir dengan *bottom ash*. Kode *CTRL* adalah campuran kontrol yang digunakan sebagai pembandingan. Campuran *CTRL* menggunakan pasir Lumajang tanpa menggunakan *bottom ash*. Penambahan *superplasticizer* dilakukan sesuai kebutuhan untuk mencapai nilai slump $5 \pm 2.5 \text{ cm}$. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 3, 7, 28, dan 56 hari.

Tabel 3. Komposisi Campuran Per Meter Kubik

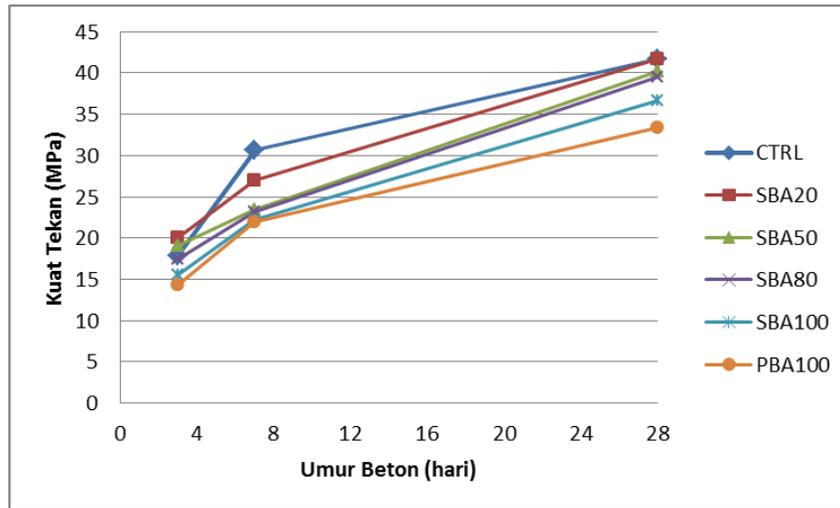
Nama	Semen (kg)	Fly Ash (kg)	Pasir (kg)	SBA (kg)	PBA (kg)	Kerikil (kg)	w/c	SP (%)
CTRL	193.75	193.75	772.93	0	0	1024.58	0.31	0
SBA020	193.75	193.75	618.34	154.59	0	1024.58	0.31	0
SBA050	193.75	193.75	386.46	386.46	0	1024.58	0.31	0.1
SBA080	193.75	193.75	154.59	618.34	0	1024.58	0.31	0.5
SBA100	193.75	193.75	0	772.93	0	1024.58	0.31	0.7
PBA100	193.75	193.75	0	0	772.93	1024.58	0.31	0

3. HASIL PENGUJIAN DAN DISKUSI

3.1. Kuat Tekan

Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* mengurangi kuat tekan dari beton. Semakin tinggi persentase penggantian pasir lumajang dengan *bottom ash* maka kuat tekan beton semakin rendah. Pada umur 3 hari perbedaan kuat tekan antara beton kontrol dengan beton yang ditambahkan *bottom ash* tidak terlalu signifikan dimana pada beton dengan penggantian 100% *bottom ash* yang telah ditumbuk (spesimen PBA 100) kuat tekan mencapai 80.1% dari beton kontrol. Pada penggantian 100% pasir

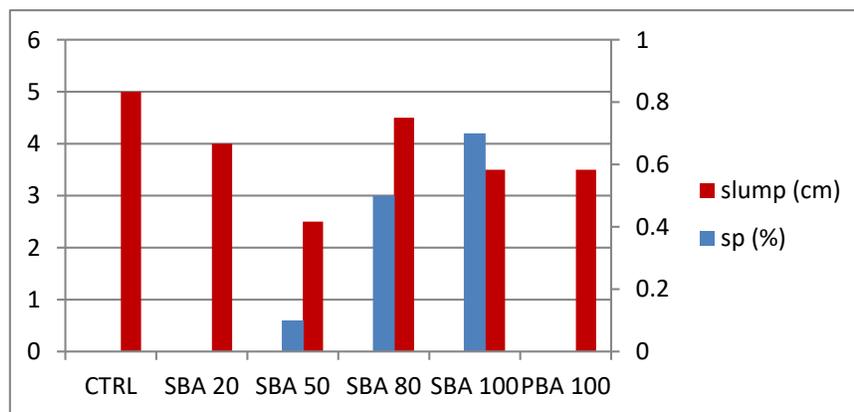
Lumajang dengan *bottom ash* (spesimen SBA 100) kuat tekan mencapai 87.7% dari beton Kontrol yang menggunakan pasir Lumajang saja sebagai agregat halus pada umur 28 hari. Penggantian 100% pasir Lumajang dengan *bottom ash* yang ditreatment tumbuk (spesimen PBA 100) memiliki kuat tekan 71.6% dari beton kontrol meskipun *workability* mengalami peningkatan dibandingkan dengan *bottom ash* yang tidak ditumbuk.



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Beton HVFA

3.2. Workability Beton HVFA

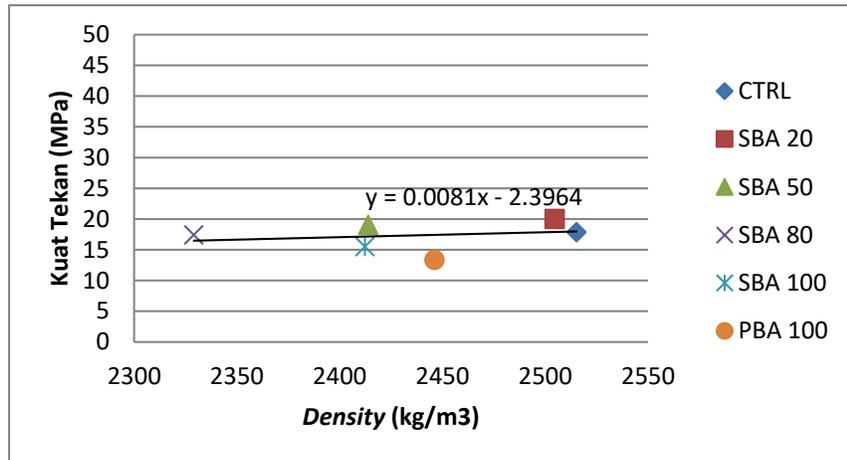
Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus juga mempengaruhi *workability* dari campuran beton HVFA. Analisa *workability* dilakukan dengan menghitung penurunan *slump* pada campuran beton segar dan penambahan *superplasticizer* untuk mencapai slump 5 ± 2.5 cm. Pada penggantian 100% pasir Lumajang dengan *bottom ash* (spesimen SBA 100) diperlukan *superplasticizer* sebanyak 0.7% dari material *cementitious* untuk mencapai slump sebesar 3.5 cm. Semakin sedikit persentase penggantian pasir Lumajang dengan *bottom ash* maka kebutuhan *superplasticizer* juga semakin berkurang, dimana pada penggantian 35% *bottom ash* tidak diperlukan *superplasticizer* untuk mencapai *slump* yang dibutuhkan.



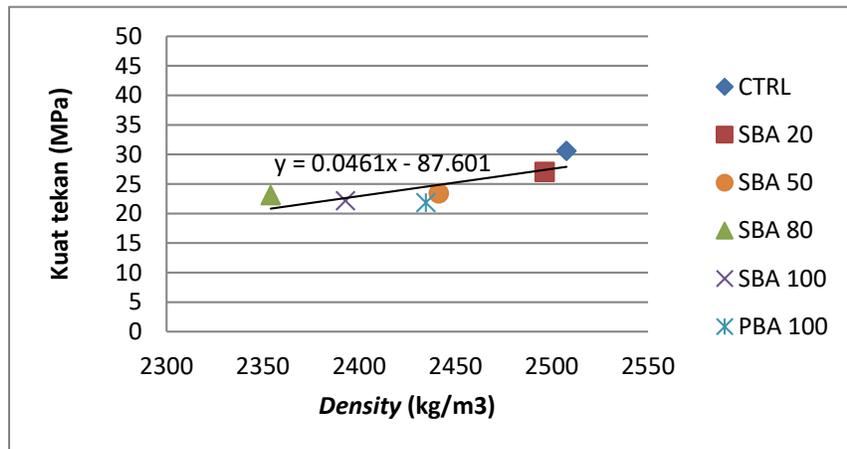
Gambar 4. Korelasi antara Slump dan Kebutuhan Superplasticizer

3.3 Korelasi *Density* dengan Kuat Tekan Beton HVFA

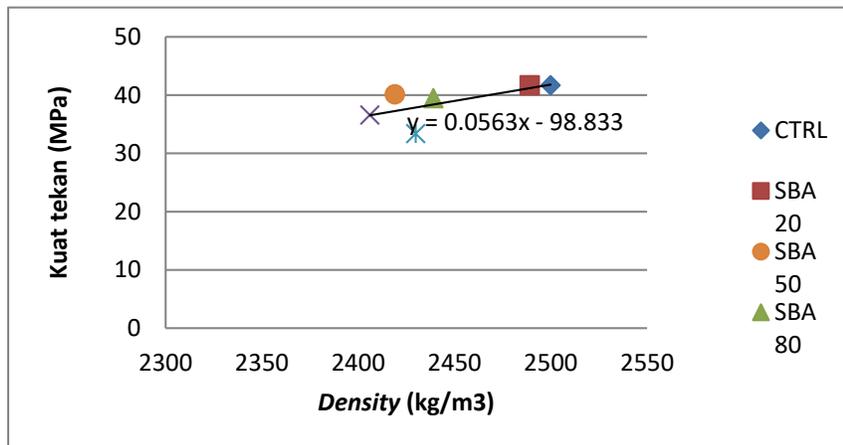
Dilakukan juga analisa terhadap variabel *density* pada beton sehingga dapat mengevaluasi secara akurat akibat penggantian pasir Lumajang dengan *bottom ash*. Korelasi dilakukan dengan cara menghubungkan *density* setiap spesimen yang dibuat dan kuat tekan betonnya pada umur 3, 7, 28, dan 56 hari. Kuat tekan beton HVFA menggunakan satuan MPa, sedangkan untuk *density* menggunakan satuan kg/m^3 . Berikut grafik korelasi *density* dan kuat tekan beton disajikan pada **Gambar 5**.



(a)



(b)



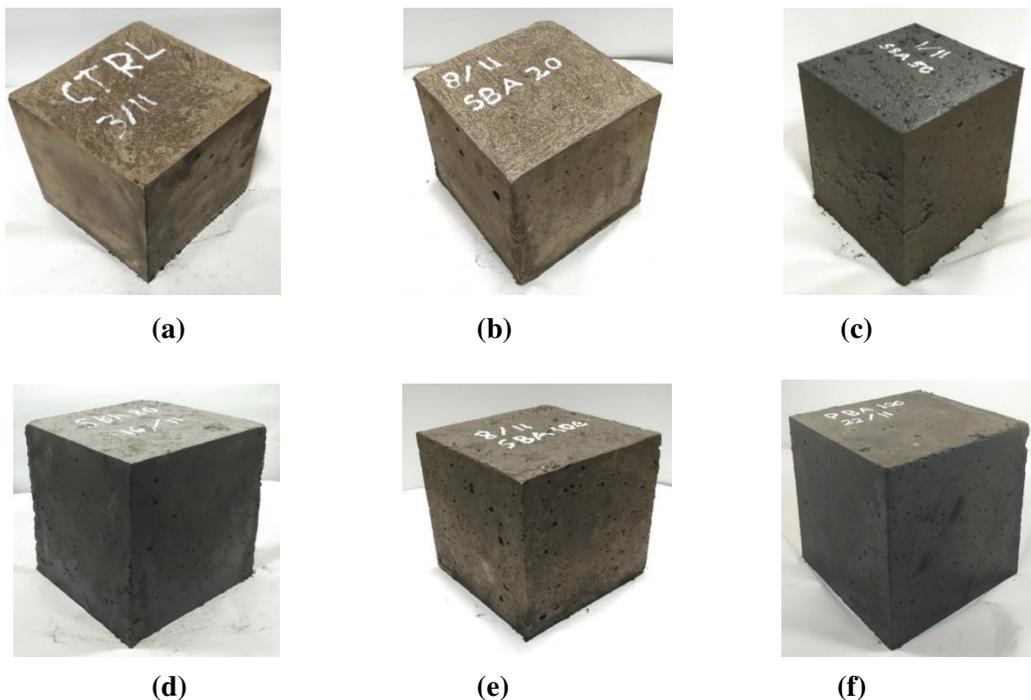
(c)

Gambar 5. Korelasi *Density* dengan Kuat Tekan pada Umur (a) 3 dan (b) 7 Hari

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin banyak penggantian pasir Lumajang dengan *bottom ash* maka *density* beton semakin rendah. Hal ini disebabkan karena partikel *bottom ash* yang memiliki banyak rongga sehingga *density* dari beton menjadi rendah.

3.4 Analisa Visual Spesimen Beton HVFA

Dilihat secara visual terdapat perbedaan warna permukaan pada spesimen beton tanpa penambahan *bottom ash* dengan beton yang menggunakan *bottom ash*. Beton yang tidak menggunakan *bottom ash* memiliki warna permukaan lebih terang daripada yang menggunakan *bottom ash*. Perbedaan warna ini dapat dilihat dari Gambar 6.



Gambar 6. Spesimen (a) CTRL, (b) SBA20, (c) SBA50, (d) SBA80, (e) SBA100, dan (f) PBA100

4. Kesimpulan

Dari pemberian *treatment* pengayakan dan penumbukan pada material *bottom ash* dan penggunaannya pada campuran beton *HVFA* telah didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada *sieved bottom ash* dan *pounded bottom ash* kebutuhan *water content* untuk mencapai kondisi *SSD* (2.9% dan 3%) jauh lebih tinggi sekitar 6 kali lipat jika dibandingkan dengan pasir Lumajang (0.5%). Untuk itu pembuatan beton *HVFA* menggunakan *bottom ash* membutuhkan lebih banyak air jika dibandingkan dengan menggunakan pasir Lumajang.
2. Pada beton dengan penggantian 100% pasir Lumajang dengan *sieved bottom ash* (SBA100), kuat tekan dari beton adalah sekitar 72.5% dari kekuatan tekan beton kontrol (CTRL) yang menggunakan 100% pasir Lumajang untuk agregat halus pada umur beton 7 hari. Sedangkan pada komposisi campuran PBA100, kuat tekan yang diperoleh hampir sama dengan beton SBA100 hanya berselisih 0.3 MPa.
3. Penggunaan *sieved bottom ash* sebagai pengganti agregat halus mengakibatkan adanya penurunan *workability* dilihat dari dibutuhkannya *superplasticizer* untuk mencapai *slump* yang ditargetkan. Namun, *treatment* penumbukan *bottom ash* dapat meningkatkan *workability* dari campuran beton sehingga tidak membutuhkan *superplasticizer* pada penggantian 100% pasir Lumajang dengan *pounded bottom ash* (Spesimen PBA100).
4. Penggantian pasir Lumajang dengan 20% *sieved bottom ash* (spesimen SBA20) merupakan penggantian yang paling ideal karena dapat mencapai kekuatan rencana beton mutu menengah (20–40 MPa) dan *workability* masih tinggi sehingga memungkinkan diaplikasikan pada komponen struktur bangunan.

5. DAFTAR REFERENSI

- Aggarwal, Y., & Siddique, R. (2014). Microstructure and Properties of Concrete Using Bottom Ash and Waste Foundry Sand as Partial Replacement of Fine Aggregates. *Construction and Building Materials*, 54, 210–223. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.051>
- 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>
- Kumar, B., Tike, G. K., & Nanda, P. K. (2007). Evaluation of Properties of High-Volume Fly-Ash Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(October), 906–911. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:10\(906\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:10(906)).
- Ramezaniapour, A. A. (2014). *Cement Replacement Materials* (1st ed.). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-36721-2>. Retrieved December 8, 2015, from ScienceDirect (Elsevier) database.
- 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). Properties of Concrete Containing High Volumes of Coal Bottom Ash as Fine Aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 91, 269–278. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.026>
- Wahyudi, S., & Vincent, A. (2016). *Beton HVFA dengan Bottom Ash sebagai Pengganti Agregat Halus untuk Beton Kekuatan Menengah*, Tugas Akhir. Universitas Kristen Petra, Surabaya.