

Pemanfaatan *Bottom Ash* sebagai *Supplementary Cement Material* (SCM) dalam Pembuatan Beton *Self Compacting Concrete* (SCC)

Moh. Najib Rizal¹, Adhi Setiawan^{1*}, Kiki Dwi Wulandari¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS-PPNS, Sukolilo, Surabaya 60111.

Email: adhi.setiawan@ppns.ac.id

Abstrak

Konsumsi batu bara di Indonesia saat ini mencapai 131,887 juta ton pada Tahun 2020 dan akan meningkat setiap tahunnya. *Bottom ash* yang terbentuk juga akan meningkat sebanding dengan konsumsi batu bara yang digunakan. *Bottom ash* dapat diprediksi menjadi bahan pengganti semen dikarenakan terdapat kandungan silika yang hampir sama dengan semen sebesar 29,04% dan semen sebesar 17-25%. Penelitian ini bertujuan untuk modifikasi *bottom ash* agar dapat dimanfaatkan menjadi beton *self compacting concrete* (SCC). Beton SCC mengacu pada ASTM 237R-07. Modifikasi *bottom ash* dilakukan dengan metode *grinding* selama 4 jam. *Grinding bottom ash* bertujuan untuk mengurangi ukuran *bottom ash* dan pori – pori partikel. Hasil *grinding bottom ash* mempunyai berat jenis 2,94 g/cm³ lebih kecil terhadap densitas semen yaitu 3,03 gr/cm³. Beton dengan variasi substitusi *bottom ash* 0% (BA0) dan 30% (BA3) dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari. Kuat tekan beton BA3 pada umur 7 dan 28 hari lebih besar terhadap kuat tekan beton BA0 atau tanpa substitusi. Serpihan beton BA3 yang telah diuji kuat tekan dilakukan pengujian TCLP Cr⁶⁺ agar dapat memastikan tidak mengandung limbah B3 yang melebihi baku mutu berdasarkan PP. no. 22 tahun 2021. Hasil TCLP menunjukkan bahwa beton tidak termasuk B3 karena tidak melebihi baku mutu TCLP A, B, dan C.

Keywords: Kuat tekan, Modifikasi *bottom ash*, *Self-Compacting Concrete*, TCLP.

1. PENDAHULUAN

Bottom ash merupakan limbah padat hasil dari pembakaran batu bara yang berada di dasar tungku (Aggarwal dkk., 2008). Berdasarkan PP. No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *bottom ash* tergolong sebagai limbah B3. *Bottom ash* dikategorikan sebagai limbah B3 dikarenakan bersumber selain dari industri pembangkit, dan terdapat kandungan kimiawi dari *bottom ash* yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Jumlah *bottom ash* yang terbentuk sebanding dengan konsumsi batu bara yang digunakan, dimana di Indonesia mencapai 131,887 juta ton pada tahun 2020 dan akan meningkat setiap tahunnya (ESDM, 2020). Konsumsi batu bara diatas menjadikan Indonesia menempati urutan ke-5 yang setidaknya 5,5% dalam produksi batubara dunia (Review & Energy, 2014).

Morfologi fisik dari *bottom ash* adalah mempunyai ukuran yang besar dan berpori (Cheriah dkk., 2016). *Bottom ash* dapat diprediksi menjadi bahan pengganti semen dikarenakan terdapat kandungan silika yang hampir sama dengan semen sebesar 29,04% dan semen sebesar 17-25% (Ristinah dkk., 2012). Diperlukan *treatment* agar *bottom ash* dapat menjadi *supplementary cement materials* (SCM). *Treatment* yang digunakan pada penelitian sebelumnya adalah dengan reduksi ukuran *bottom ash* menggunakan proses *grinding*, sehingga akan mengurangi pori dan meningkatkan reaktivitasnya (Arun dkk., 2020). Pemanfaatan *bottom ash* sebagai pozzolan material akan mengurangi isu – isu pencemaran lingkungan, salah satunya adalah mengurangi timbulan *bottom ash* dan secara tidak langsung mengurangi efek negatif pada lingkungan akibat dari proses pembuatan semen.

Pemanfaatan *bottom ash* sebagai SCM dapat menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan kekuatan dan durabilitas struktur beton (Mangi et al., 2019). Pada paper ini akan berfokus terhadap pemanfaatan *bottom ash*

sebagai SCM menjadi beton *self compacting concrete* (SCC). Paper ini akan menjelaskan tentang karakteristik fisik dari *bottom ash*, sehingga dapat menjadi bahan pengganti semen. Karakteristik fisik yang akan dibandingkan dengan karakteristik fisik semen adalah densitas. *Bottom ash* yang disubstitusikan sebesar 30% dari berat semen, dan 0% atau tanpa substitusi akan dijadikan kontrol. Pengujian beton yang akan dilakukan adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari. Beton dengan substitusi 30% diharapkan bukan merupakan kategori limbah B3, sehingga untuk mengantisipasinya beton akan dilakukan pengujian TCLP limbah B3. Parameter yang diujikan adalah parameter Cr^{6+} yang merupakan salah satu logam berat yang dominan dan terdaftar pada parameter TCLP. Pengujian TCLP pada parameter Cr^{6+} mengacu terhadap hasil pengujian XRF bahwa konsentrasi sebesar 0,01% didalam *bottom ash* (Nugroho dkk., 2015). Hasil TCLP Cr^{6+} akan dibandingkan terhadap baku mutu limbah B3 yang tercantum pada PP.No. 22 Tahun 2021.

2. METODOLOGI

Metode modifikasi *bottom ash* dengan *grinding* dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan yaitu dengan cara menggunakan mesin ball mill dimana hasil *grinding* mencapai ukuran 11 μm (Arun dkk., 2020). *Grinding* dilakukan selama 4 jam dengan *bottom ash* sebanyak 6 kg dan berat bola sebesar 30 kg dengan variasi yang berbeda. Sebelum dilakukan *grinding*, *bottom ash* dioven terlebih dahulu selama 24 jam untuk memastikan tidak ada kandungan air. Apabila *bottom ash* masih lembab, dapat mengakibatkan *bottom ash* akan mengkerak pada dinding ball mill. Bahan – bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah agregat halus, agregat kasar, semen OPC dan air. Agregat halus yang digunakan jenis pasir lumajang yang didapatkan dari toko bahan bangunan setempat. Agregat kasar berupakerikil yang didapatkan dari toko bangunan setempat.

2.1. SELF COMPATING CONCRETE

Beton SCC memiliki karakteristik *flowability* yang baik sehingga dapat meminimalisir terjadinya segregasi. *Flowability* dicapai dengan dilakukan pembatasan pada fraksi agregat kasar. Selain mengurangi komposisi dari agregat kasar, penambahan *admixture superplasticizer* dapat menambah *flowability* dari campuran beton. Segregasi dapat dicapai dengan mengurangi nilai rasio *water/binder*. *High Range Water Reducer* (HRWR) sebagai *superplasticizer* yang dapat mengurangi air hingga 30% berdasarkan ASTM C494- 99.

2.2. KUAT TEKAN BETON

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur bila dibebani dengan gaya tertentu. Uji kuat tekan berdasarkan ASTM C-39. Kekuatan tekan beton direncanakan sebesar 40 MPa. Pengujian kuat tekan diperoleh dari pengujian terhadap benda uji berbentuk silinder menggunakan mesin uji tekan.

2.3. TOXICITY CHARACTERISTIC LEACHING PROCEDURE (TCLP)

Uji TCLP sebagai penentuan salah satu sifat berbahaya dari limbah, uji TCLP diterapkan pula dalam evaluasi produk *pretreatment* limbah sebelum di *landfilling*, yaitu proses solidifikasi/stabilisasi (S/S).Ketentuan tentang TCLP limbah B3 berada pada PP. No.22 tahun 2021. Uji TCLP ini dilakukan pada beton yang mempunyai mutu terbaik dengan berdasarkan karakteristik yang telah diuji dengan XRF. Dasar prosedur dalam melakukan TCLP telah diatur pada SNI 8808-2009.

2.4. MIX DESIGN

Material yang digunakan pada beton adalah *bottom ash* yang didapatkan dari PT. Wilmar Nabati Indonesia semen OPC, pasir, kerikil, dan air. *Mix design* beton dikalkulasikan berdasarkan ASTM 237R-

07. Material yang dibutuhkan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Mix design beton SCC 0% dan 30%

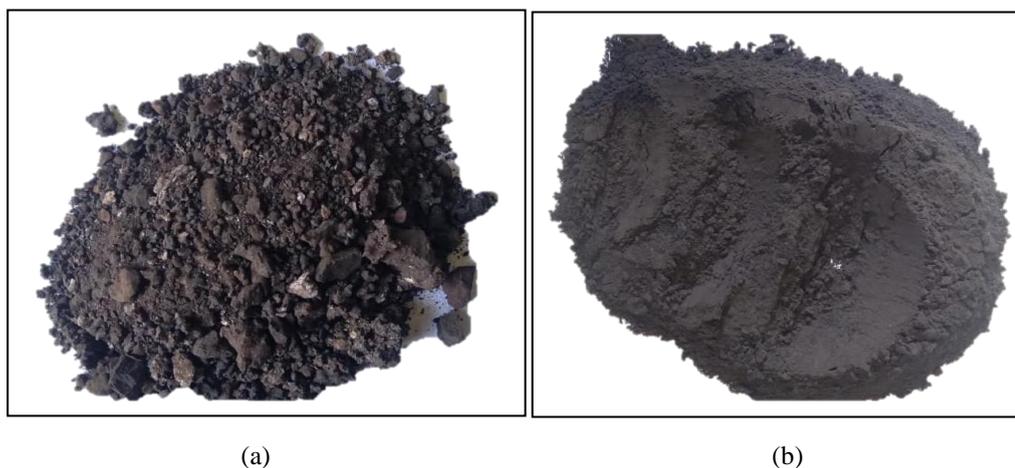
No	Material	Kebutuhan Material/27 sampel (kg)	
		BA0	BA30
1	Semen	23,65	14,19
2	<i>Bottom ash</i>	0,00	7,10
3	HRWR	0,35	0,35
4	Air	5,95	5,95

No	Material	Kebutuhan Material/27 sampel (kg)	
		BA0	BA30
5	Pasir	40,92	40,92
6	Kerikil	35,36	35,36

Pembuatan beton dilakukan dengan menggunakan mesin molen dengan kapasitas 1 m³. Cetakan beton yang digunakan adalah ukuran 10 x 20 cm². Pada beton SCC yang paling terpenting adalah target slump yang harus dipenuhi yaitu >650 mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi *bottom ash* yang dilakukan dengan menggunakan alat *grinding* selama 4 jam. *Bottom ash* yang setelah dimodifikasi dan sebelum di dimodifikasi dapat dilihat pada **Gambar 1**. Partikel *bottom ash* setelah modifikasi secara tampak sangat halus dibandingkan dengan *bottom ash* sebelum *grinding*. *Bottom ash* sebelum *grinding* mempunyai ukuran yang besar dan bervariasi, *bottom ash* yang telah di *grinding* mempunyai ukuran yang relatif lebih halus dan terlihat seragam.



Gambar 1. (a) *Bottom ash* sebelum *grinding* (b) *Bottom ash* setelah *grinding*

3.1. DENSITAS *BOTTOM ASH*

Pengujian densitas semen dilakukan berdasarkan ASTM C188-89. Densitas semen akan dibandingkan dengan densitas *bottom ash* yang telah dimodifikasi. Pengujian densitas *bottom ash* yang telah dimodifikasi dilakukan perlakuan sama dengan densitas semen. Berikut merupakan hasil pengujian densitas semen dan *bottom ash* sebagai pengganti semen.

Tabel 2. Densitas Semen dan *Bottom Ash*

Material	Densitas (g/cm ³)
Semen	3,03
<i>Bottom ash</i>	2,94

Bottom ash yang digunakan untuk pengganti semen dianalisis sama seperti dengan analisis berat jenis semen, tujuannya adalah untuk membandingkan berat jenis semen dan *bottom ash*. Berdasarkan hasil diatas maka berat jenis OPC yang digunakan sebesar adalah 3,03 gr/cm³ lebih besar dari berat jenis *bottom ash* sebesar 2,94 gr/cm³. Beton dengan substitusi *bottom ash* yang besar, maka berat jenis beton akan semakin menurun. Berat jenis semen ditetapkan oleh ASTM C188 yaitu sebesar 3 – 3,2 gr/cm³ dengan angka rata – rata 3,15 g/cm³. Berat jenis *bottom ash* sebagai pengganti semen tidak memenuhi karena lebih kecil yang ditetapkan. Sehingga kemungkinan berat jenis dan kuat tekan beton akan semakin menurun dengan semakin banyak *bottom ash* yang ditambahkan sebagai pengganti semen.

Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa *bottom ash* yang dilakukan *treatment grinding* untuk dijadikan sebagai bahan pozzolan mempunyai densitas yang lebih rendah dari pada semen (Tang et al., 2014). Penelitian tersebut juga menunjukkan beberapa metode modifikasi *bottom ash*, salah

satunya adalah dengan *burning bottom ash* pada suhu 750 °C. densitas *bottom ash* mendekati 3 g/cm³.

3.2. Kuat Tekan Beton SCC

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui mutu beton SCC pada setiap variasi substitusi semen dengan *bottom ash*. **Tabel 3.** Menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 dan 28 hari.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton SCC

Variasi	Kuat Tekan (MPa)	
	7 Hari	28 Hari
BA0	41,00	53,84
BA30	41,97	55,34

Kuat tekan beton SCC 28 hari mengalami peningkatan yang identik pada setiap variasi dari pada kuat tekan beton SCC umur 7 hari. Peningkatan waktu *curing* pada beton menyebabkan peningkatan pada kuat tekan beton (Mangi et al., 2018). Kuat tekan BA3 pada masing – masing variasi waktu *curing* 7 dan 28 hari adalah sebesar 41,97 MPa dan 55,34 MPa. Kuat tekan tersebut melebihi kuat tekan rencana dan melebihi kuat tekan kontrol yaitu BA0 atau tanpa substitusi *bottom ash*. Fenomena tersebut merupakan sifat *pozzolan bottom ash* bereaksi secara sempurna. Kemudian hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa batas maksimal *bottom ash* menjadi *supplementary cement materials* adalah 35 (Argiz dkk., 2017). *Fly ash* (dalam penelitian ini adalah *bottom ash*) mempunyai kandungan utama silikat dioksida (SiO₂) maka pada suhu biasa dapat bereaksi secara kimiawi dengan kapur bebas (Ca(OH)₂) yang merupakan hasil sampingan proses hidrasi antara semen dan air menghasilkan *calcium-silikat-hidrat* (C – S – H) yang merupakan sumber kekuatan beton (Suarnita, 2011). Artinya bahwa substitusi *bottom ash* 30% dapat bereaksi dengan kapur bebas yang menyebabkan kuat tekan beton meningkat hingga melebihi kuat tekan beton tanpa substitusi. Kemampuan *bottom ash* sebagai bahan pengganti semen merupakan inovasi yang sangat potensial. Kemampuan tersebut dapat dilihat dari hasil pengujian kuat tekan beton yang mencapai beton mutu tinggi. Beton dengan *bottom ash* tersebut dapat menjadi rekomendasi bagi industri, sehingga *bottom ash* tidak hanya dilakukan *landfilling* atau diserahkan kepada pihak ketiga untuk proses pengolahannya.

3.3. TCLP *Bottom ash* dan Beton BA30

Pengujian TCLP *bottom ash* didapatkan dari data sekunder PT. Wilmar Nabati Indonesia dan TCLP beton BA30 diperoleh dari pengujian di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS Surabaya. Berdasarkan kandungan logam oksida yang terdapat pada pengujian XRF yang termasuk parameter logam yang terdapat pada uji TCLP yaitu Cr⁶⁺. **Tabel 4.** menunjukkan bahwa hasil pengujian TCLP material *bottom ash* dan beton variasi BA30.

Tabel 4. Hasil pengujian TCLP Cr⁶⁺

No.	Sampel	Satuan	Baku Mutu			Hasil analisis
			TCLP-A	TCLP-B	TCLP-C	
1.	<i>Bottom ash</i>	mg/L	15	2,5	1	1
2.	Beton BA3	mg/L	15	2,5	1	0,284

Bottom ash sebagai bahan *supplementary cement material* merupakan limbah yang mengandung oksida logam berat, salah satunya adalah Cr⁶⁺. *Bottom ash* telah dilakukan pengujian TCLP oleh industri yang salah satunya adalah Cr⁶⁺. Konsentrasi Cr⁶⁺ yang terdapat pada material *bottom ash* sebesar 1 mg/L. Beton BA30 dilakukan pengujian TCLP untuk memastikan seberapa besar kandungan logam berat Cr⁶⁺ yang terkandung pada beton tersebut. Konsentrasi Cr⁶⁺ pada beton BA30 adalah tersebut sebesar 0,284 mg/L. Hasil pengujian TCLP material *bottom ash* dan beton BA30 telah memenuhi baku mutu TCLP-A, TCLP-B, dan TCLP-C yang telah diatur oleh PP. no. 22 Tahun 2021. Konsentrasi logam berat (Pb) yang terkandung didalam beton (dalam hal ini Cr) mempunyai reaksi didalam beton sebagai berikut.



Logam berat Cr disimbolkan dengan M adalah akan bereaksi dengan sisa hasil reaksi hidrasi semen yaitu CO_2 sehingga akan membentuk endapan *Chrom Carbonates* dan *Chrom Hidroxides*. Logam – logam berat pencemar akan terendapkan didalam beton secara mekanis didalam beton sehingga melindungi beton agar tidak terlarutkan oleh lingkungan dan konsentrasi limbah akan menurun dan aman bagi lingkungan (Lestari & Razif, 2019).

Pengujian TCLP material *bottom ash* dan beton dengan bahan tambahan *bottom ash* telah dilakukan pengujian TCLP dengan hasil konsentrasi Cr^{6+} material lebih besar dari pada beton BA30. Artinya, beton BA30 akumulasi kandungan unsur B3 yaitu Cr^{6+} mengalami penurunan atau lebih rendah dari konsentrasi *bottom ash* yang tidak diolah. Sehingga penelitian tentang pemanfaatan *bottom ash* menjadi beton mempunyai potensi untuk dikembangkan. unsur kimia yang berbahaya dalam *fly ash* dan *bottom ash* (abu batubara) berikatan secara kuat dengan semen, sehingga unsur kimia tersebut sulit terlarutkan (leached) (Sulistiyowati, 2013). Oleh karena itu, bila beton SCC dengan menggunakan *bottom ash* sebagai SCM jika terkena pengaruh cuaca tidak menjadi masalah karena bata beton tersebut tidak akan meluruhkan unsur B3 ke lingkungan.

4. KESIMPULAN

Modifikasi *bottom ash* menggunakan metode *grinding* selama 4 jam menghasilkan *bottom ash* yang lebih halus dan terlihat seragam. Densitas *bottom ash* sebesar $2,94 \text{ g/cm}^3$ lebih kecil dari pada densitas semen sebesar $3,03 \text{ g/cm}^3$. Kuat tekan beton BA0 lebih kecil dari pada kuat tekan BA3, sehingga beton BA3 sangat layak untuk diimplementasikan menjadi beton struktur. TCLP Cr^{6+} *bottom ash* dan beton BA3 telah memenuhi baku mutu TCLPA, B, dan C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, P., Siddique, R., Aggarwal, Y., & Gupta, S. M. (2008). Self-compacting concrete - Procedure for mix design. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 7(12), 15–24.
- Argiz, C., Sanjuán, M. Á., & Menéndez, E. (2017). Coal *Bottom ash* for Portland Cement Production. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1–8.
- Arun, N. R., Singh, P., & Gupta, S. (2020). Utilisation of ground *bottom ash* in concrete. *Materials Today: Proceedings*, 3, 1–7.
- Cherif, M., Rocha, C. J., & Pera, J. (2016). Properties of coal *bottom ash* from power plants in Malaysia and its suitability as geotechnical engineering material. *Jurnal Teknologi*, 78(8–5), 1–10.
- Kementerian ESDM. (2020). Laporan Kinerja Kementerian ESDM 2020.
- Lestari, R. S., & Razif, M. (2019). Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Batako Menggunakan Pb. *Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan Dan Infrastruktur*, 443–449.
- Mangi, S. A., Ibrahim, M. H. W., Jamaluddin, N., Arshad, M. F., Memon, F. A., Jaya, R. P., & Shahidan, S. (2018). A review on potential use of coal *bottom ash* as a supplementary cementing material in sustainable concrete construction. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(9), 127–135.
- Mangi, S. A., Wan Ibrahim, M. H., Jamaluddin, N., Arshad, M. F., & Putra Jaya, R. (2019). Short-term effects of sulphate and chloride on the concrete containing coal *bottom ash* as supplementary cementitious material. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(2), 515–522.
- Nugroho, D. S., Triwulan, & Ekaputri, J. J. (2015). 213498-Penggunaan-Limbah-Hasil-Pembakaran-Batu. 4(2). BP Statistical Review of World Energy, (2014). *BP Statistical Review of World Energy 2014*
- Ristinah, Zacoeb, A., M. D. Soehardjono, A., & Setyowulan, D. (2012). Pengganti Semen pada Campuran Batako terhadap Kuat Tekan Batako. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(3), 264–271.
- Suarnita, W. I. (2011). Kuat Tekan Beton Dengan Aditif Fly Ash EX. PLTU Mpanau Tavaeli. *Jurnal SMARTek*, 9(1), 1–10.
- Sulistiyowati, A. N. (2013). Bata Beton Berlubang Dari Abu Batubara (Fly Ash Dan *Bottom ash*) Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 15(1), 87–96.
- Tang, P., Florea, M. V., Spiesz, P., & Brouwers, H. J. (2014). The Application Of Treated *Bottom Ash* In Mortar As Cement Replacement. *EurAsia Waste Management Symposium, 28-30 April 2014, YTU 2010 Congress Center, Istanbul/Turkiye*, 1077–1082.