

PENELITIAN AWAL PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* PLTU SURALAYA DALAM PEMBUATAN BETON DI LINGKUNGAN PANTAI

Kurniawati Ester Ghozali¹, Albertus Yonathan², Antoni³, dan Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : PLTU Suralaya merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap terbesar di Indonesia. PLTU Suralaya ini menghasilkan limbah batu bara sebesar 1750 ton setiap harinya yang berupa *fly ash* dan *bottom ash*. Sama halnya dengan *fly ash*, *bottom ash* juga merupakan residu yang berasal dari proses pembakaran batu bara. Namun, pemanfaatan *bottom ash* di Indonesia masih sangat jarang. Hal ini dikarenakan bentuk partikelnya yang tidak teratur dan *porous* sehingga mengurangi *workability* beton segar. Dalam penelitian ini dilakukan pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* untuk pembuatan beton *break water* atau bangunan pemecah ombak. Struktur beton *break water* berfokus pada durabilitas, permeabilitas dan berat volumenya bukan kekuatannya. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa pemakaian *fly ash* PLTU Suralaya dapat meningkatkan kelecakan pada beton. Sehingga membantu melawan sifat *bottom ash* yang mengurangi kelecakan beton segar. Dengan memperhatikan gradasi ukuran *bottom ash*, mortar HVFA yang menggunakan *bottom ash* 100% sebagai agregat halus dapat mencapai kekuatan 36.6 MPa pada umur 28 hari dengan *w/cm* sebesar 0.35. Sedangkan beton yang menggunakan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus dapat mencapai kekuatan 24.8 MPa pada umur 28 hari. Durabilitas beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* di dalam lingkungan sulfat juga menunjukkan performa yang cukup baik.

KATA KUNCI: *fly ash*, *bottom ash*, *workability*, *break water*, *durability*, *sulfate attack*

1. PENDAHULUAN

Fly ash dan *bottom ash* merupakan residu atau limbah dari proses pembakaran batu bara yang saat ini mulai dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen ataupun pengganti agregat halus dalam pembuatan beton. Selain itu, *fly ash* juga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan durabilitas beton, salah satunya adalah ketahanan terhadap sulfat. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Thomas et al., (2007) menunjukkan bahwa penggunaan 20 sampai 30 persen *low calcium fly ash* sebagai pengganti semen dapat meningkatkan kemampuan *sulphate resistance* pada beton. Sedangkan dalam pemanfaatan *bottom ash*, terdapat kelemahan pada bentuk partikelnya yang tidak teratur, relative besar, *porous* serta kasar. Hal ini membuat antar partikel *bottom ash* terkunci satu sama lain sehingga mengurangi *workability* beton segar jika *bottom ash* digunakan sebagai agregat halus (Sulistio et al., 2015). Di sisi lain, PLTU Suralaya yang berlokasi di Cilegon, Banten sebagai salah satu sumber penghasil *fly ash* dan *bottom ash* terbesar di Indonesia berada di dekat pantai sehingga memunculkan suatu kesempatan untuk bisa memanfaatkan *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Suralaya dalam pembangunan bangunan tepi laut, salah satunya adalah *break water*. Namun, terdapat kendala dari segi ketahanan beton untuk bangunan pemecah ombak, karena garam sodium yang terkandung dalam air laut dapat bereaksi secara kimiawi

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, kurniawatiester.g@gmail.com

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, albertusyonathan26@gmail.com

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

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

dengan semen dan mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen sehingga dapat mengurangi kekuatan beton. Selain reaksi kimia, kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tersebut (Syamsuddin et al., 2011). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menemukan metode yang tepat dalam memanfaatkan *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Suralaya pada pembuatan beton khususnya beton *break water*. Campuran beton diusahakan untuk memanfaatkan *fly ash* dan *bottom ash* secara maksimal serta mengurangi penggunaan semen semaksimal mungkin. Selain itu dalam penelitian ini juga akan ditambahkan pengujian durabilitas beton terhadap lingkungan sulfat.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Fly Ash

Fly ash adalah limbah padat yang berbentuk abu yang dihasilkan oleh proses pembakaran batubara yang ada di pembangkit tenaga listrik. Material ini memiliki ukuran butiran yang halus dan berwarna keabu-abuan (Wardani, 2008). Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *workability*, dan mengurangi terjadinya *bleeding* serta segregasi pada beton segar. Selain itu, penggunaan *fly ash* juga dapat meningkatkan kekuatan tekan beton dalam jangka panjang, memadatkan beton, mengurangi penyusutan beton, dan meningkatkan durabilitas beton (Nugraha & Antoni, 2004). *Fly ash* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *fly ash* tipe C dan tipe F. *Fly ash* tipe F memiliki sifat pozzolan, sedangkan *fly ash* tipe C, selain memiliki sifat pozzolan, *fly ash* ini juga memiliki sifat *cementitious*. Perbedaan utama dari kedua *fly ash* tersebut terdapat pada banyaknya kadar oksida kalsium, silika, aluminium dan besi.

2.2. Bottom Ash

Bottom ash atau abu dasar juga merupakan hasil pembakaran batu bara yang memiliki ukuran lebih besar dan lebih berat dari partikel *fly ash* dan memiliki tekstur yang menyerupai pasir. Bentuk *bottom ash* yang kasar dan besar menjadi salah satu kelemahan pada *bottom ash* yang dapat mengurangi *workability* pada beton. Selain itu *bottom ash* juga mempunyai sifat menyerap banyak air yang meningkatkan kebutuhan *water content* pada campuran beton, sehingga membuat kualitas beton berkurang. Bentuk *bottom ash* yang menyerupai pasir dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat. Penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti pasir dalam pembuatan beton dapat memberi dampak yang menguntungkan dalam segi ekonomi (Singh & Siddique, 2015).

2.3. Sulphate Resistance

Lingkungan laut tergolong ekstrim karena air laut memiliki kandungan seperti klorida dan sulfat. Beton yang terpapar langsung pada lingkungan laut dalam waktu cukup lama rentan terserang sulfat. Sulfat yang terdapat dalam air laut ini sebagian besar merupakan sodium sulfat (Na_2SO_4) ataupun magnesium sulfat (MgSO_4). Kandungan ini dapat merusak beton dan menurunkan daya tahan beton karena munculnya reaksi ion sulfat dengan kalsium hidroksida dan kalsium aluminat yang ada di dalam beton. *Sulphate attack* dapat menyebabkan berbagai kerusakan, tetapi yang paling umum yaitu keretakan yang parah, ekspansi, dan hilangnya ikatan antara pasta semen dan agregat (Neville, 1995).

3. RANCANGAN PENELITIAN

3.1. Material dan Peralatan yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan semen Gresik, *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Suralaya, *superplasticizer*, dan air. Ukuran *bottom ash* yang digunakan diklasifikasikan menjadi 3 yaitu 5 mm, 2.36 mm dan lebih halus dari 2.36 mm. *Superplasticizer* yang digunakan adalah Viscocrete 1003 tipe *polycarboxylate* dari Sika. Untuk pengujian durabilitas beton, digunakan sodium sulfat (Na_2SO_4). Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ayakan, timbangan, oven, *mixer*, bekisting, *vibrator*, *Universal Testing Machine*, pH meter, dan *flow table*, dan alat *slump*.

3.2. Mix Design

3.2.1 Mix Design Mortar

Sebelum pembuatan sampel mortar, dilakukan pengujian kepadatan terhadap *bottom ash*. Kepadatan tertinggi yang didapatkan digunakan untuk semua sampel mortar. Terdapat dua jenis *mix design* yang digunakan, yaitu *mix design* mortar dengan menggunakan 100% *bottom ash* sebagai agregat halus (**Tabel 1**) dan mortar dengan variasi persentase penggunaan *bottom ash* (**Tabel 2**).

Tabel 1. Komposisi Campuran Mortar 100% Bottom Ash

Kode	Semen (kg/m ³)	FlyAsh (kg/m ³)	Bottom Ash (kg/m ³)	w/cm	SP (%)
MBA(FA40)2	480	320	1600	0.45	-
MBA(FA50)2	400	472.8	1527.2	0.4	0.5
MBA(FA54)1,75.1				0.4	0.5
MBA(FA54)1,75.2				0.35	0.4
MBA(FA54)1,75.3				0.35	0.3
MBA(FA54)1,75.4				0.3	0.4
MBA(FA54)1,75.5				0.3	0.3

Tabel 2. Komposisi Campuran Mortar dengan Variasi Persentase Penggunaan Bottom Ash

Kode	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Bottom Ash (kg/m ³)	w/cm	SP (%)
MBA100	400	472.8	-	1527.2	0.35	0.4
MBA80			305.44	1221.76		0.2
MBA50			763.6	763.6		0.1
MCTRL			1527.2	-		-

3.2.2 Mix Design Beton

Sebelum pembuatan sampel beton, dilakukan pula pengujian kepadatan dari agregat yang digunakan, yaitu batu pecah dan *bottom ash*. Pembuatan sampel beton dilakukan dalam dua tahap, pada tahap pertama (**Tabel 3**) dibuat sampel beton dengan variasi w/cm untuk mendapatkan kuat tekan dan *workability* paling maksimal. Setelah didapatkan *mix design* yang menghasilkan kuat tekan dan *workability* terbaik, dilakukan pembuatan sampel beton tahap 2 (**Tabel 4**), dimana pada tahap 2 terdapat lima jenis campuran berbeda yang kemudian digunakan pada pengujian durabilitas beton di lingkungan sulfat. Untuk setiap komposisi campuran dibuat benda uji dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.

Tabel 3. Komposisi Campuran Beton dengan Variasi w/cm

Kode	Semen (kg/m ³)	FlyAsh (kg/m ³)	Batu Pecah (kg/m ³)	Bottom Ash (kg/m ³)	w/cm	SP (%)
CBA (FA40)0.4	250	167	1100	733.33	0.4	0.3
CBA(FA40)0.3	250	167	1100	733.33	0.3	0.3
CBA(FA40)0.25	250	167	1100	733.33	0.25	0.7

Tabel 4. Komposisi Campuran Beton di Lingkungan Sulfat

Kode	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Batu Pecah (kg/m ³)	Bottom Ash (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	w/cm	SP (%)	
CBA100	250	166.67	1100	733.33	-	0.3	0.3	
CBA80				586.664	146.666			
CBA50				366.665	366.665			
CCTRLFA				-	733.33			0.4
CCTRL				416.67	-			-

3.3. Pengujian Durabilitas Beton di Lingkungan Sulfat

Pengujian durabilitas beton terhadap lingkungan sulfat pada penelitian ini dilakukan hingga pada hari ke 90. Pengujian dilakukan dengan cara merendam benda uji di dalam larutan natrium sulfat (Na_2SO_4) dengan konsentrasi larutan 5% dan memiliki rentang PH 6.0 – 8.0 yang dilakukan sesuai dengan standar ASTM C 1012-04. Pertama-tama bahan kimia Na_2SO_4 dilarutkan dengan menggunakan air dengan mencampurkan 50 gram Na_2SO_4 dan 1 liter air. Secara keseluruhan dibuat larutan sebanyak 115 liter. Perendaman dilakukan pada benda uji berumur 28 hari untuk tiap *mix design*. Tiap minggunya dilakukan pengujian pH pada larutan, penimbangan berat dan juga uji visual pada semua benda uji.

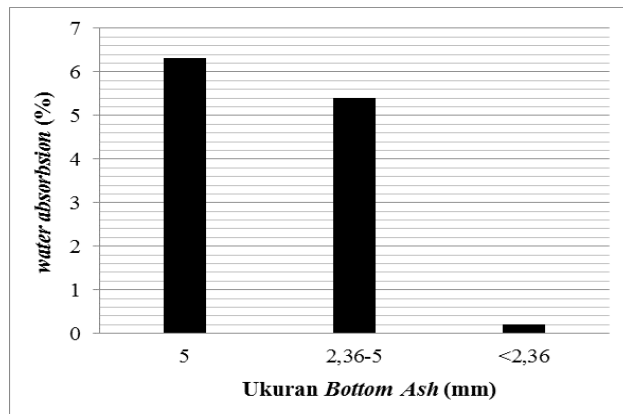
4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Analisa Material

Bottom ash yang digunakan diuji berat jenis dan absorpsinya kemudian dicari kepadatan maksimum dari beberapa variasi gradasi. Pengujian berat jenis dan absorpsi dilakukan pada masing-masing ukuran *bottom ash*. Hasil uji berat jenis dan absorpsi *bottom ash* dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 1** Sedangkan gradasi kepadatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 6** Gradasi kepadatan yang digunakan adalah gradasi nomor 3 dengan mempertimbangkan jumlah masing-masing ukuran *bottom ash*.

Tabel 5. Hasil Berat Jenis *Bottom Ash*

Ukuran	Gs Rata-rata
5mm	1.80
2-5mm	1.92
Dasar	2.00



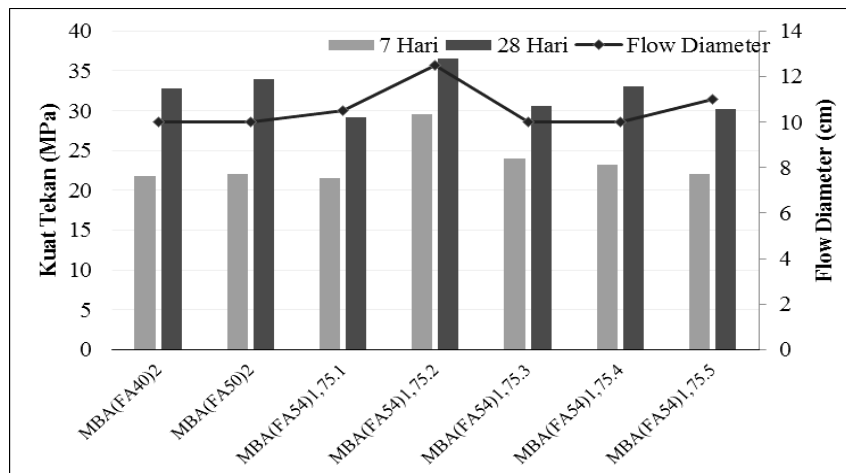
Gambar 1. Hasil Uji Absorpsi *Bottom Ash*

Tabel 6. Gradasi Kepadatan Agregat

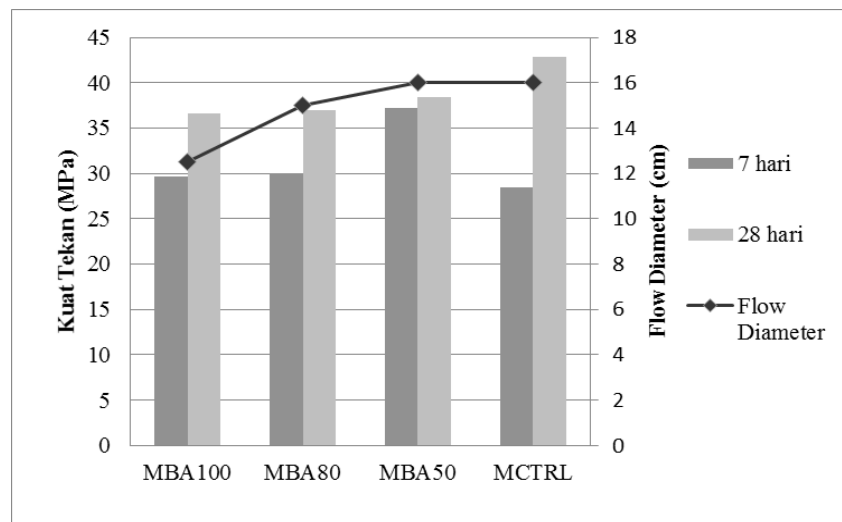
No. Kombinasi	Ukuran Bottom Ash	Persentase Ukuran (%)	BV/BJ
1	5mm	10	0.5695
	2-5 mm	35	
	Dasar	55	
2	5mm	10	0.5811
	2-5 mm	40	
	Dasar	50	
3	5mm	15	0.6085
	2-5 mm	40	
	Dasar	45	
4	5mm	15	0.6153
	2-5 mm	45	
	Dasar	40	

4.2. Analisa Hasil Pengujian Mortar dengan *Bottom Ash* sebagai Agregat Halus

Mortar yang menggunakan *bottom ash* sebagai agregat halus memiliki beberapa kekurangan, antara lain kelecakan dari mortar segar yang berkurang dan kekuatan yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan mortar yang menggunakan pasir sebagai agregat halus. Kelecakan mortar berkurang karena bentuk *bottom ash* yang tidak beraturan, sedangkan kekuatan mortar berkurang karena *bottom ash* bersifat porous dan berat jenis nya yang lebih rendah dibandingkan pasir normal. *Mix design* mortar yang terbaik di dapatkan dengan menggunakan *fly ash* sebanyak 54% sebagai pengganti semen, *w/cm* sebesar 0.35 dan *superplasticizer* sebanyak 0.4% dari *cementitious materials*. Hasil uji mortar tahap 1 dapat dilihat pada **Gambar 2**. Sedangkan untuk pengujian mortar tahap 2 bertujuan untuk membandingkan penggunaan *bottom ash* dengan pasir sebagai agregat halus. Tidak terlihat hasil yang signifikan antara pemanfaatan 100% dengan 50% *bottom ash*. Hasil perbandingan ini dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Hasil Uji Mortar Tahap 1



Gambar 3. Hasil Uji Mortar Tahap 2

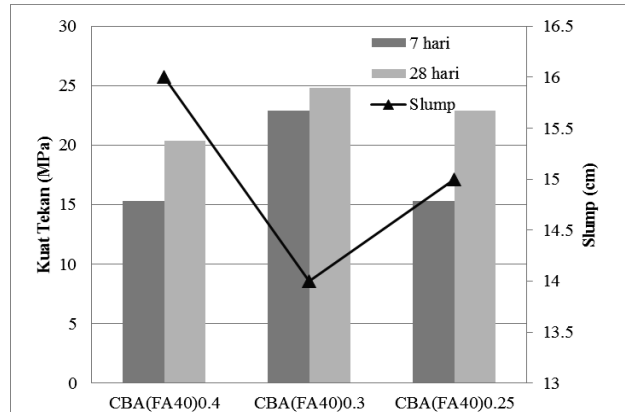
4.3. Analisa Pengujian Beton dengan *Bottom Ash* sebagai Agregat Halus

Pada pengujian sampel beton, digunakan gradasi kepadatan agregat seperti pada **Tabel 7**. Pertama dilakukan pengujian untuk mencari *mix design* beton terbaik dengan menggunakan 100% *bottom ash*. Seluruh *mix design* beton menggunakan 40% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen. *Mix design*

beton yang terbaik diraih dengan menggunakan w/cm sebesar 0.3 dan *superplasticizer* sebanyak 0.3% dari *cementitious materials*. Hasil pengujian kuat tekan dan *flowability* beton dapat dilihat pada **Gambar 4**. Dari pengujian ini disimpulkan bahwa beton yang menggunakan *bottom ash* sebagai agregat halus tidak bisa menggunakan w/cm yang terlalu rendah. Hal ini akan menurunkan *flowability* beton dan meningkatkan kebutuhan *superplasticizer*.

Tabel 7. Gradasi Kepadatan Agregat

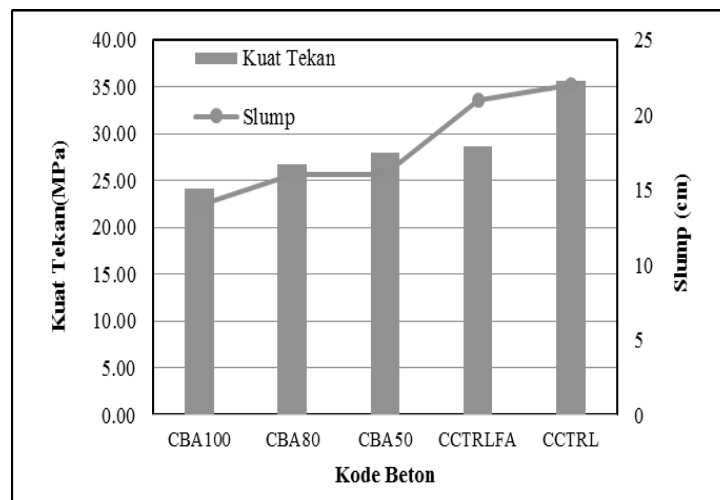
Ukuran Agregat	Persentase Ukuran (%)	BV/BJ
20-25 mm	33	0.6567
10-20 mm	27	
5mm	6	
2-5 mm	16	
>2mm	18	



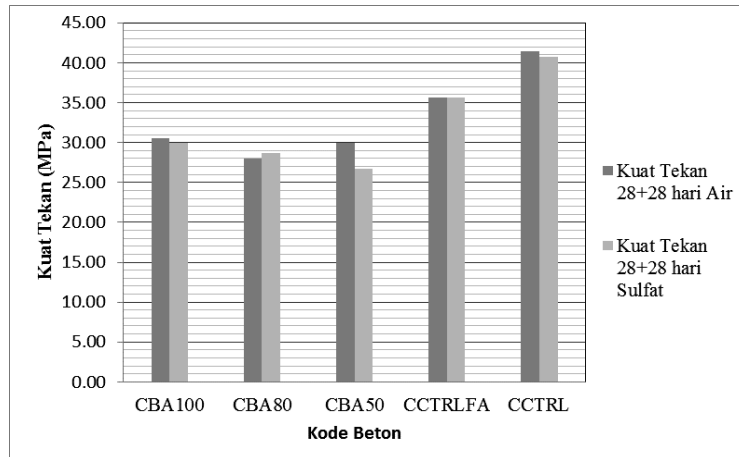
Gambar 4. Hasil Uji Kuat Tekan dan Flowability Beton

4.4. Analisa Pengujian Durabilitas Beton di Lingkungan Sulfat

Setelah didapatkan *mix design* yang paling optimal, dilakukan pengujian durabilitas beton didalam larutan sodium sulfat dengan konsentrasi sebesar 5% setelah beton berumur 28 hari. Sedangkan sebagai kontrol, sampel lain direndam di dalam air biasa. Pengujian ini Hasil pengujian berupa kuat tekan dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**. Sedangkan hasil pengamatan kehilangan berat dapat dilihat pada **Tabel 8**.



Gambar 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 hari



Gambar 6. Perbandingan Kuat Tekan Beton dalam Sodium Sulfat dengan Air setelah 28 hari

Dari segi kekuatan dilihat bahwa sampel beton dapat mempertahankan kekuatannya dengan cukup baik setelah perendaman 28 hari di dalam larutan sodium sulfat. Beton yang menggunakan 40% *fly ash* dan 100% *bottom ash* sebagai agregat halus mengalami penurunan kekuatan sebesar 1.63 MPa atau sebesar 5.3% dari sampel beton yang direndam dalam air biasa. Sedangkan beton dengan 40% *fly ash* dan tidak menggunakan *bottom ash* sama sekali tidak mengalami penurunan kekuatan.

Sedangkan dari pengujian kehilangan berat beton, tidak nampak kehilangan berat yang signifikan. Kehilangan berat yang paling besar terjadi pada sampel beton yang menggunakan 100% *bottom ash*, yaitu sebesar 0.41% dari berat awal.

Tabel 8. Kehilangan Berat Setelah Perendaman selama 4 Minggu di Larutan Sodium Sulfat

Kode	No. Sampel	Minggu ke-0 (%)	Minggu ke-4 (%)	Rata-rata (%)
CBA100	1	100	99.59	99.59
	2	100	99.59	
	3	100	99.67	
	4	100	99.51	
	5	100	99.59	
	6	100	99.57	
CBA80	1	100	99.65	99.80
	2	100	99.89	
	3	100	99.84	
	4	100	99.65	
	5	100	99.92	
	6	100	99.84	
CBA50	1	100	99.92	99.86
	2	100	99.81	
	3	100	99.92	
	4	100	99.87	
	5	100	99.82	
	6	100	99.84	
CCTRLFA	1	100	99.8	99.81
	2	100	99.79	
	3	100	99.82	
	4	100	99.84	
	5	100	99.79	
	6	100	99.79	
CCTRL	1	100	99.87	99.85
	2	100	99.9	
	3	100	99.87	
	4	100	99.87	
	5	100	99.77	
	6	100	99.84	

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas dapat di lihat bahwa :

- Penggunaan *bottom ash* didalam campuran mortar dan beton harus memperhatikan gradasi dari masing – masing ukuran *bottom ash*. Penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti 100% agregat halus menghasilkan kuat tekan maksimal sebesar 36.6 MPa dengan menggunakan *fly ash* sebanyak 54% dari total *cementitious material*, dimana nilai ini tidak jauh berbeda dari kuat tekan mortar dengan pasir sebagai agregat halus yaitu sebesar 42.8 MPa.
- Beton yang menggunakan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus sepenuhnya menghasilkan kuat tekan maksimal sebesar 24.8 MPa dengan *w/cm* sebesar 0.3 dan SP sebanyak 0.3% dari jumlah *cementitious materials*.
- Penurunan kekuatan beton yang terjadi setelah perendaman selama 28 hari di larutas sodium sulfat memberikan indikasi awal yang cukup baik, dimana beton dengan 40% *fly ash*, dan 100% *bottom ash* mengalami penurunan kekuatan sebesar 1.63 MPa atau sebesar 5.3%. Sedangkan beton dengan 40% *fly ash* dan tidak menggunakan *bottom ash* sama sekali tidak mengalami penurunan kekuatan.
- Beton yang direndam selama 28 hari di larutan sodium sulfat tidak mengalami kehilangan berat yang berarti. Kehilangan berat terbesar terjadi pada beton yang menggunakan 40% *fly ash* dan 100% *bottom as*, yaitu sebesar 0.41% dari berat awal. Hal ini mengindikasikan ketahanan beton yang cukup baik terhadap serangan sulfat.

6. DAFTAR REFERENSI

- ASTM, C. 1012-04. (2004). *Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution*, 3–8.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of Concrete (4th Edition)*. Pearson Education Limited. England.
- Nugraha, P., & Antoni. (2004). *Teknologi Beton*. (S. Suyantoro, Ed.) (Ed.I). Andi Offset: Yogyakarta.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.026>
- Sulistio, A. V., Wahjudi, S., Hardjito, D., & Antoni. (2015). Penggunaan Bottom Ash Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Mortar Hvfa. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 1–8.
- Syamsuddin, R., Wicaksono, A., Sipil, J. T., Teknik, F., & Malang, U. B. (2011). *Pengaruh Air Laut Pada Perawatan (Curing) Beton terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Variasi Faktor Air Semen dan Durasi Perawatan*, 5(2), 68–75.
- Thomas, M., Ph, D., Eng, P., Engineering, C., & Brunswick, N. (2007). *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. University of New Brunswick.
- Wardani, S. P. R. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Pidato Pengukuhan Guru Besar, Universitas Diponegoro Semarang, 1–71.