

Bottom Ash: Pengganti Agregat Halus dalam Pembuatan Beton

Hardiana¹, Nasruddin Junus², Pratiwi Mushar³

^{1,2,3} Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Abstrak

Penggunaan batubara sebagai sumber energi pada PLTU menghasilkan limbah padat berupa *bottom ash* dan *fly ash* dari hasil pembakaran. Pemanfaatan limbah *bottom ash* khususnya yang dihasilkan oleh PLTU Jeneponto masih belum optimal. Besarnya jumlah limbah dapat mencemari lingkungan sekitar, jika limbah tersebut langsung dibuang ke lingkungan lambat laun akan membentuk gas metana yang sewaktu-waktu dapat terbakar atau meledak dengan sendirinya, selain berbahaya bagi lingkungan limbah hasil pembakaran batubara membutuhkan fasilitas pembuangan yang relatif mahal. Tujuan pembahasan adalah membandingkan kuat tekan antara beton normal dengan beton yang menggunakan *bottom ash* sebagai agregat halus. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yakni uji laboratorium dengan menganalisis hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Masing-masing benda uji dirawat dengan metode *dry curing* dan *wet curing*, jumlah benda uji beton sebanyak 48 buah, dengan variasi umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hasil penelitian ini menyatakan limbah *bottom ash* dapat difungsikan sebagai pengganti agregat halus. Nilai hasil pengujian pada umur 28 hari menunjukkan hasil rata-rata kuat tekan beton normal *dry curing* lebih tinggi 13,28% dari beton *bottom ash* yang dirawat dengan metode *dry curing*. Pada metode *wet curing*, nilai kuat tekan beton normal lebih tinggi 40.17% dari beton *bottom ash*.

Kata-kunci : beton, *bottom ash*, kuat tekan

Bottom Ash: Replacement of Fine Aggregate in Making Concrete

Abstract

The use of coal as a source of energy in steam-electric power station produces solid waste in the form of bottom ash and fly ash from the results of combustion. The use of bottom ash waste, especially those produced by the Jeneponto steam-electric power station, is still not optimal. The amount of waste can pollute the surrounding environment, if the waste is directly discharged into the environment, it will gradually form methane gas which can burn or explode by itself at any time, in addition to being harmful to the environment waste from coal combustion requires relatively expensive disposal facilities. The purpose of this study is to compare the compressive strength between normal concrete and concrete using bottom ash as fine aggregate. The research method used is an experimental method that is laboratory testing by analyzing the causal relationship between each other and comparing the results. Each specimen was treated with dry curing and wet curing method, the number of concrete specimens was 48, with variations in concrete age 3 days, 7 days, 14 days and 28 days. The results of this study stated that bottom ash waste can be used as a substitute for fine aggregate. The test results at 28 days showed that the average compressive strength of normal dry curing concrete was 13.28% of bottom ash concrete treated with dry curing method. In wet curing method, the value of normal concrete compressive strength is 40.17% higher than concrete bottom ash.

Keywords : concrete, *bottom ash*, compressive strength

Kontak Penulis

Hardiana

Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Jl. Sawo, Komp. Ex PKG, Kec. Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Kode Pos: 92172 Tel : +62-82-396-620180
E-mail : hardiana16@gmail.com

Informasi Artikel

Diterima editor tanggal 2 Juni 2019. Revisi tanggal 10 Agustus 2019. Disetujui untuk diterbitkan tanggal 2 September 2019
ISSN 2301-9247 | E-ISSN 2622-0954 | <https://jlbi.iplbi.or.id/> | © Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI)

Pengantar

Batubara telah banyak dimanfaatkan dalam bentuk energi listrik karena merupakan sumber yang sangat diandalkan dan sangat terjangkau untuk digunakan sebagai pembangkit listrik. Selain untuk energi listrik; batubara juga digunakan dalam berbagai industri seperti bahan kimia, kertas, plastik, produk berbagai material logam, baja, keramik, tar batubara, dan bahkan pupuk. Pada saat ini banyak industri telah mengganti sumber tenaga pada pembangkit uap/boiler dari minyak (IDO atau MFO) dengan batubara sebagai akibat langka dan mahal nya harga bahan bakar tersebut. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pada unit boiler pada industri akhir-akhir ini menjadi pilihan yang paling diminati oleh para pengusaha karena disamping dapat menghemat biaya operasional juga ketersediaannya cukup melimpah di Indonesia.

Penggunaan batubara paling banyak digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Menurut Direktur Human Capital Management PT PLN (Persero), Limbah yang berasal dari batubara ini menghasilkan sekitar 5,2 juta ton per tahun, berupa 80% bottom ash dan 20% fly ash (Direktur Human Capital Management PT PLN (Persero), 2018). Penggunaan batubara akan menghasilkan limbah hasil pembakaran yaitu *bottom ash* dan *fly ash* dimana jumlahnya akan terus meningkat selama industri terus memproduksi. Penanganan limbah ini dilakukan dengan cara menimbunnya di lahan kosong sehingga apabila volume limbah semakin bertambah maka semakin luas pula area yang diperlukan untuk menimbunnya.

Berdasarkan Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, ukuran partikel dari abu dasar yang memiliki kesamaan dengan pasir merupakan faktor utama yang menjadi pilihan memanfaatkan abu dasar sebagai bahan substitusi pasir dalam campuran beton. Selain itu komposisi kimia abu dasar yang bersifat *pozzolanic* merupakan faktor pendukungnya walaupun sifat *pozzolanic* ini tidak terlalu dominan karena ukuran partikel abu dasar yang relatif besar. Hal ini menjadi faktor diadakannya penelitian untuk menggunakan *bottom ash* dari PLTU Jeneponto yang belum dimanfaatkan secara optimal.

Pemanfaatan *bottom ash* dalam pembuatan beton diharapkan akan diperoleh campuran yang menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik optimum, sehingga dihasilkan beton yang lebih efisien serta dapat mengembangkan pemanfaatan limbah batubara dan tidak mengganggu lingkungan hidup setelah diaplikasikan sebagai bahan bangunan.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penggunaan *bottom ash* sebagai agregat halus terhadap kuat tekan pada variasi umur 3, 7, 14, dan 28 serta pengaruh perawatan beton dengan metode *wet curing* dan *dry curing*.

Kajian Pustaka

Zulmahdi Darwis, Soelarso, dan Taufik Hidayat pada

tahun 2015 meneliti tentang pemanfaatan limbah *bottom ash* sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan beton. Penelitian dilakukan dengan membandingkan antara beton normal dengan beton yang pemakaian agregat halus nya diganti dengan *bottom ash* limbah dari sisa pembakaran batubara yang diberi beberapa perlakuan berbeda. Nilai hasil pengujian pada umur 56 hari menunjukkan hasil rata-rata kuat tekan beton normal (tipe A) sebesar 23,64 MPa. Tipe B mengalami penurunan nilai kuat tekan dari beton normal yaitu sebesar 20,35 % dengan nilai kuat tekan sebesar 18,83 MPa. Beton tipe C menghasilkan peningkatan kuat tekan sebesar 5,09 % dari beton normal dengan nilai kuat tekan yang lebih besar diantara tipe lainnya, yaitu sebesar 24,84 MPa. Beton tipe D mengalami penurunan kuat tekan sebesar 3,59 % dari beton normal dengan nilai kuat tekan sebesar 22,79 MPa.

Surya Pradita, Alex Kurniawand, Zulfikar Djauhari (2015) meneliti pemanfaatan abu dasar (*bottom ash*) sebagai bahan substitusi pasir pada beton mutu normal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *workability* beton segar yang menggunakan bahan pengganti limbah abu dasar, serta pengaruh abu dasar terhadap sifat mekanis beton (kuat tekan, absorpsi, porositas, dan susut beton), dan untuk menentukan komposisi optimal penggantian abu dasar terhadap agregat halus yang bisa dimanfaatkan pada beton mutu normal. Hasil penelitian ini mendapati bahwa penggunaan abu dasar pada campuran beton cenderung mengurangi tingkat *workability* pada ketiga jenis mutu beton sehingga membutuhkan penambahan air untuk mencapai standar *workability* yang direncanakan. Penambahan air meningkat sebanding dengan penambahan jumlah abu dasar dalam campuran beton. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada ketiga jenis mutu beton, maka penggunaan abu dasar pada campuran beton cenderung menurunkan nilai kuat tekan beton bila dibandingkan dengan variasi kontrolnya. Dari penelitian ini berdasarkan hasil pengujian kuat tekan didapatkan komposisi campuran beton yang optimum dengan penggunaan abu dasar adalah sebesar 30% pada masing-masing mutu beton.

Sholahuddin Triwidinata pada tahun 2017 meneliti tentang pengaruh *bottom ash* sebagai bahan pengganti sejumlah pasir terhadap kuat tekan, kuat lentur dan modulus elastisitas beton mutu tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan penggunaan variasi pasir dan *bottom ash* yang baik bagi beton mutu tinggi. Pengujian berupa uji kuat tekan dengan silinder beton 10x20 cm, uji kuat lentur dengan balok 10x10x40 cm dan modulus elastisitas beton dengan silinder beton 15x30 cm. Komposisi penggantian pasir dengan *bottom ash* sebanyak 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur optimum diperoleh pada variasi 80% *bottom ash*. Nilai kuat tekan sebesar 39,68 MPa (umur 7 hari) dan 45,41 MPa (umur 28 hari). Nilai kuat lentur sebesar 4,62 MPa (umur 7 hari) dan 5,53 MPa (umur 28 hari). Nilai modulus elastisitas beton

optimum diperoleh pada variasi 20% dan 80% bottom ash yaitu sebesar 60625,67 MPa dan 59441,67 MPa (umur 28 hari).

Pada Tabel 1 disajikan perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang telah diadakan oleh penulis.

Metode

Jenis penelitian yang dilakukan adalah kuantitatif dengan metode eksperimen yakni uji laboratorium dengan analisis menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Hasil pengujian pada penelitian ini dihitung & diolah dengan perangkat lunak program aplikasi Microsoft Excell 2010 for windows.

Pemeriksaan Karakteristik Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat halus (bottom ash) dan agregat kasar (batu pecah). Bottom ash yang digunakan berasal dari PLTU Jeneponto sedangkan agregat kasar berasal dari Bendungan Bili-bili.

Pengujian material yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.

Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa. Metode pengujian agregat mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dan ASTM (American Society for Testing Material).

Tabel 2. Pengujian Material

No	Material	Standar Kerikil	Standar <i>Bottom Ash</i>
1	Berat Volume Gembur dan Padat	SNI 03-4804-1998,	SNI 03-4804-1998
2	Analisis Saringan	ASTM C136:2012	SK-SNI-T-15-1990-03
3	Berat Jenis	SNI 1970:2008	SNI 1970:2008
4	Penyerapan	SNI 1970:2008	SNI 1970:2008
5	Kadar Air	SNI 03-1971-1990	SNI 03-1971-1990
6	Kadar Lumpur	SNI 03-4142-1996	SNI 03-1971-1990

Tabel 1. Keaslian Penelitian

Peneliti	Zulmahdi Darwis, Soelarso, dan Taufik Hidayat	Surya Pradita, Alex Kurniawand, Zulfikar Djauhar	Sholahuddin Triwidinata	Hardiana
Tahun Penelitian	2015	2015	2017	2018
Judul Penelitian	Pemanfaatan Limbah <i>Bottom Ash</i> sebagai Substitusi Agregat Halus dalam Pembuatan Beton	Pemanfaatan Abu Dasar (<i>Bottom Ash</i>) sebagai Bahan Substitusi Pasir pada Beton Mutu Normal	Pengaruh <i>Bottom Ash</i> sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Pasir terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Lentur dan Modulus Elastisitas pada Beton Mutu Tinggi	Pengaruh Penggunaan <i>Bottom Ash</i> Batubara sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton dengan Metode Wet Curing dan Dry Curing
Variabel Penelitian	Pengujian kuat tekan	Pengujian slump, kuat tekan, absorpsi, porositas, dan susut pada beton	Pengujian kuat tekan, kuat tarik lentur dan modulus elastisitas	Pengujian kuat tekan
	Pasir 100%, <i>bottom ash</i> tanpa perlakuan, <i>bottom ash</i> yang dicuci dan dikeringkan dalam oven, dan <i>bottom ash</i> dicuci kemudian dikeringkan dengan sinar matahari	Variasi campuran <i>bottom ash</i> 0%, 10%, 20%, dan 30%	Variasi campuran <i>bottom ash</i> 0 %, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100 %	Variasi campuran <i>bottom ash</i> 100% (pengganti pasir) dan 100% pasir
	Pengujian dibatasi pada umur 7, 14, 21, 28 dan 56 hari	Pengujian dibatasi pada umur 7, 28, dan 90 hari.	Pengujian dibatasi pada hari ke 7 dan 28.	Pengujian dibatasi pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari
	Perawatan dengan metode <i>wet curing</i>	Perawatan dengan metode <i>wet curing</i>	Perawatan dengan metode <i>wet curing</i>	Perawatan dengan metode <i>wet curing</i> dan <i>dry curing</i>
	Mix Design menggunakan metode ACI (American Concrete Institute)	Mix Design menggunakan metode ACI (American Concrete Institute)	Mix Design menggunakan metode ACI (American Concrete Institute)	Mix Design menggunakan SK. SNI. T-15-1990-03
	K 240 (20 Mpa)	K-100, K-175, dan K-250	K 600 (50 MPa)	K300 (25 MPa)



Gambar 1. Bottom Ash yang telah disaring



Gambar 2. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian

Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran (mix design) beton menggunakan metode SK-SNI dengan mutu beton rencana 25 MPa. Hasil perhitungan komposisi campuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Campuran Beton 1 m³

No	Material	Beton Normal	Beton Bottom Ash
1	Air (Kg)	10.30	10.30
2	Semen (Kg)	19.80	19.80
3	Pasir (Kg)	36.45	0
4	Kerikil (Kg)	57.01	57.01
5	Bottom Ash (Kg)	0	36.45



Gambar 3. Proses pembuatan benda uji



Gambar 4. Proses pengeluaran beton dari bekisting

Pengujian Slump

Pengukuran Slump Test dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton, yang dapat menggambarkan kemudahan pengerjaan (workability) beton untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan penyusutan beton (segregasi). Campuran Slump test dilakukan dengan panduan SK SNI-1972-2008.



Gambar 5. Proses pengujian slump test

Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada hari ke 3, 7, 14 dan 28. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.



Gambar 6. Alat yang digunakan untuk uji kuat tekan

Benda Uji

Secara keseluruhan jumlah benda uji yang digunakan adalah 48 buah yang dirincikan pada tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Benda Uji

Jenis Beton	Material	Umur Benda Uji (Jumlah)			
		3	7	14	28
Beton Normal	Wet Curing	3	3	3	3
	Dry Curing	3	3	3	3
Beton Bottom Ash	Wet Curing	3	3	3	3
	Dry Curing	3	3	3	3

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Material

Tabel 5 menunjukan hasil pengujian data analisis saringan, berat volume, kadar air, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan. Standar yang digunakan pada agregat halus dan agregat kasar berdasarkan SNI, untuk bottom ash tidak ada standar yang tercantum dalam SNI, untuk itu dalam penelitian ini digunakan standar SNI untuk agregat halus.

Tabel 5. Hasil Pengujian Material

No	Material	Standar Kerikil
1	Berat Volume Gembur dan Padat	Memenuhi
2	Analisis Saringan	Memenuhi
3	Berat Jenis	Memenuhi
4	Penyerapan	Memenuhi
5	Kadar Air	Memenuhi
6	Kadar Lumpur	Memenuhi



Gambar 7. Pemeriksaan Kadar Lumpur *bottom ash*

Hasil Pengujian Slump Beton

Nilai slump merupakan ukuran keenceran adonan beton. Semakin besar nilai slump berarti semakin encer adonan beton tersebut. Nilai slump memengaruhi *workability* (kemudahan dalam pengerjaan adukan beton) yang artinya semakin besar nilai slump maka akan semakin mudah dalam pengerjaannya. Namun nilai slump memiliki ambang batas, artinya beton tidak boleh memiliki nilai yang terlalu tinggi atau nilai yang terlalu

rendah. Umumnya nilai slump yang digunakan adalah 10 ± 2 . Jadi kisaran nilai slump 8-12 dan nilai slump beton sudah memenuhi.

Tabel 6. Hasil Pengujian Slump

Jenis Beton	Nilai Slump
Beton Normal	12
Beton <i>Bottom Ash</i>	11



Gambar 8. Hasil Pengujian Slump

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dry Curing

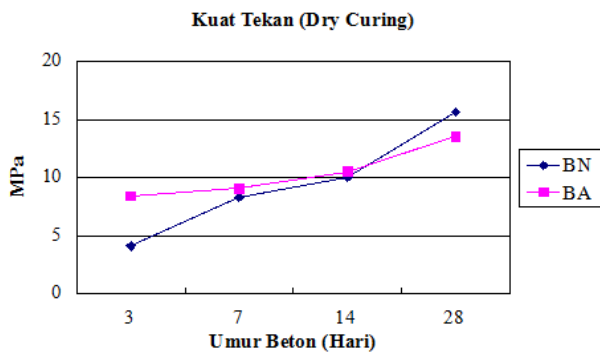
Pada tabel 7 dapat kita lihat bahwa nilai tertinggi untuk beton bottom ash yaitu pada hari ke 28 sebesar **13.58 MPa** atau sama dengan **K163.61**. Nilai beton bottom ash lebih rendah 13.28%.

Kekuatan beton dengan menggunakan abu dasar cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton. Hal ini sesuai dengan (Pradita, Surya, Alex Kurniawandy dan Zulfikar Djauhari, 2012) yang menyebutkan bahwa kekuatan akan terus meningkat bahkan sampai hari ke 90. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi pada beton masih berjalan. Kenaikan kekuatan tersebut merupakan akibat dari kombinasi antara proses hidrasi semen dan reaksi pozzolanic yang terkandung dalam abu dasar.

Tabel 7. Hasil Kuat Tekan Beton dengan Metode *Dry Curing*

Umur Beton	Beton Normal	Beton Bottom Ash
3	4.41	8.45
7	8.3	9.1
14	10.06	10.53
28	15.66	13.58

Pada gambar 9 dalam grafik dapat kita lihat bahwa kuat tekan beton dengan *bottom ash* cenderung lebih tinggi daripada beton normal. Namun pada hari ke 28, nilai kuat tekan *bottom ash* lebih rendah 13,28%. Hal ini diasumsikan terjadi karena pemisahan (*segregation*) material beton selama pembuatan benda uji, sehingga material yang berat akan berada di bawah. Hal lain yang dapat memengaruhi adalah proses pencampuran agregat yang tidak tersebar secara merata.



Gambar 9. Grafik Kuat Tekan dengan Metode Dry Curing



Gambar 10. Kondisi benda uji yang mengalami segregasi

Faktor-faktor yang sangat memengaruhi kekuatan beton adalah: faktor air semen dan kepadatan, umur beton, jenis semen, dan sifat agregat (Tjokrodinuljo, 1996). Pada gambar 10 dapat dilihat terjadinya segregasi pada sampel dan agregat yang tidak tersebar merata. Hal ini dapat memengaruhi penyebab rendahnya kuat tekan pada hari ke 28.

Hasil Kuat Tekan metode Wet Curing

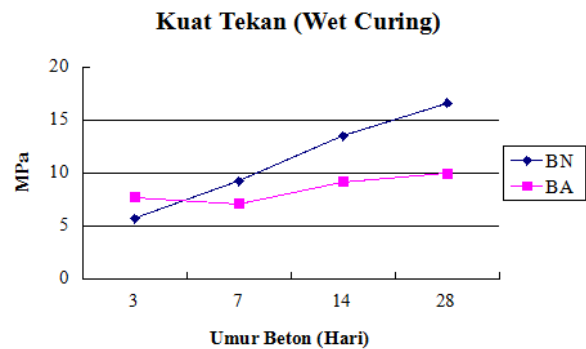
Dari tabel 8 dapat kita lihat bahwa nilai tertinggi untuk beton *bottom ash* yaitu pada hari ke 28 sebesar **9.95 MPa** atau sama dengan K119.87. Nilai beton *bottom ash* lebih rendah 40.17%.

Penggunaan *bottom ash* sebagai agregat halus pada beton mempunyai kendala karena *bottom ash* mempunyai bentuk yang kasar dan ukuran yang besar. Selain itu *bottom ash* juga mempunyai permukaan pori yang besar sehingga menyerap banyak air. Sifat menyerap air *bottom ash* itu meningkatkan *water content* pada campuran beton sehingga membuat kualitas beton berkurang (Kim, 2015).

Tabel 8. Hasil Kuat Tekan Beton dengan Metode Wet Curing

Umur Beton	Beton Normal	Beton Bottom Ash
3	5.69	7.71
7	9.23	7.1
14	13.47	9.16
28	16.63	9.95

Pada gambar 11 dalam grafik dapat kita lihat bahwa nilai kuat tekan beton dengan *bottom ash* cenderung lebih rendah dibandingkan beton normal. Pada hari ke 3 nilai *bottom ash* (BA) lebih tinggi 26.20%, pada hari ke 7 lebih rendah 23.08%, pada hari ke 14 menurun 32.00% dan pada hari ke 28 nilainya lebih rendah 40.17%. Hal ini dapat disebabkan jumlah air yang masih banyak terkandung dalam benda uji. Dapat kita lihat penjelasan (Kim, 2015) bahwa *bottom ash* memiliki pori yang besar sehingga menyerap air.



Gambar 11. Grafik Kuat Tekan dengan Metode Wet Curing

Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan metode Dry dan Wet Curing

Menurut Paul Nugraha dan Antoni pada tahun 2007 mengatakan bahwa perawatan basah diperlukan untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air karena hidrasi yang terjadi di dalamnya. Sehingga nilai beton yang dirawat dengan metode *wet curing* akan lebih tinggi.

Dari hasil pengujian kuat tekan dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton *bottom ash* yang menggunakan metode *dry curing* lebih tinggi daripada *wet curing*. Hal ini berbeda dengan yang diungkapkan Paul Nugraha dan Antoni dalam buku Teknologi Beton pada tahun 2007. Hal ini dapat diakibatkan jarak waktu uji dengan waktu dikeluarkannya benda uji dari bak perendaman. Seperti yang diungkapkan sebelumnya bahwa *bottom ash* memiliki pori yang besar sehingga memiliki kandungan air yang banyak. Jumlah air yang berlebih dapat membuat kualitas beton berkurang.

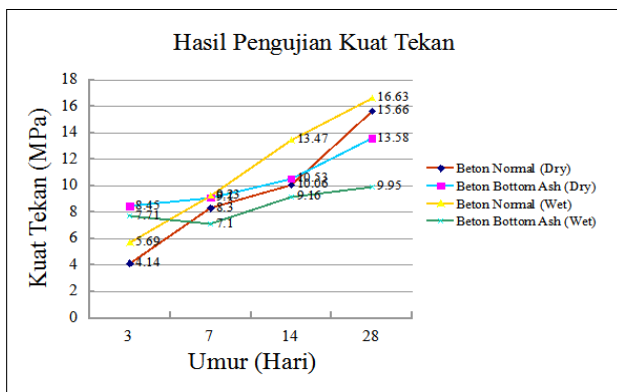
Rekapitulasi hasil kuat tekan beton yang dirawat dengan metode *dry curing* disajikan pada tabel 4.9

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton

Umur Beton	Beton Normal		Beton Bottom Ash	
	Dry Curing	Wet Curing	Dry Curing	Wet Curing
3	4.41	5.69	8.45	7.71
7	8.3	9.23	9.1	7.1
14	10.06	13.47	10.53	9.16
28	15.66	16.63	13.58	9.95



Gambar 12. Uji kuat tekan beton



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kesimpulan

Nilai kuat tekan beton dengan *bottom ash* cenderung lebih tinggi daripada beton normal pada benda uji yang dirawat dengan metode *dry curing*. Pada hari ke 3 nilai kuat tekan beton *bottom ash* lebih tinggi 51%, pada hari ke 7 nilai *bottom ash* lebih tinggi 8.71% dan pada hari ke 14 nilai *bottom ash* lebih tinggi 4.46%. Namun pada hari ke 28, nilai kuat tekan *bottom ash* lebih rendah 13,28% dibandingkan dengan beton normal. Hal ini diasumsikan terjadi karena pemisahan (*segregation*) material beton selama pembuatan benda uji, sehingga material yang berat akan berada di bawah. Hal lain yang dapat memengaruhi adalah proses pencampuran agregat yang tidak tersebar secara merata. Nilai kuat tekan beton dengan *bottom ash* yang dirawat dengan metode *wet curing* cenderung lebih rendah dibandingkan beton normal. Pada hari ke 3 nilai *bottom ash* (BA) lebih tinggi 26.20%, pada hari ke 7 lebih rendah 23.08%, pada hari ke 14 menurun 32.00% dan pada hari ke 28 nilainya lebih rendah 40.17%. Hal ini dapat disebabkan jumlah air yang masih banyak terkandung dalam benda uji karena *bottom ash* memiliki pori yang besar sehingga menyerap air.

Rekomendasi

1. Metode pengerjaan benda uji perlu diperhatikan dengan baik untuk meminimalisir terjadinya *segregasi*.

2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan *bottom ash* sebagai agregat halus pada beton dengan metode *wet curing* terkait pengaruh durasi waktu benda uji didiamkan sebelum pengujian dan pengujian hingga umur 90 hari.
3. Perlu diadakan penelitian yang membandingkan beton yang menggunakan *bottom ash* sebagai agregat halus dan klinker sebagai agregat kasar dengan beton normal yang menggunakan pasir sebagai agregat halus dan kerikil.
4. Mutu beton *bottom ash* tertinggi yaitu 13.58 MPa atau setara dengan K.163 yang bisa dimanfaatkan sebagai beton non struktural.

Daftar Pustaka

- Antoni dan Nugraha, P. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta :Andi
- Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description. (2000). Retrieved from: <http://www.fthrc.gov/hnr20/recycle/waste/cbabs2.html>,
- Darwis, Z., dkk. (2015). "Pemanfaatan Limbah Bottom Ash sebagai Substitusi Agregat Halus dalam Pembuatan Beton". *Jurnal Fondasi*, 4 (1).
- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat>.
- Pradita, S., dkk.(.2012). "Pemanfaatan Abu Dasar (Bottom Ash) sebagai Bahan Substitusi Pasir pada Beton Mutu Normal". Retrieved from https://repository.unri.ac.id/bitstream/handle/123456789/4596/SURYAPRADITA_0807121053.pdf
- SNI 03-1968-1990. (1990). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan `Agregat Halus dan Kasar. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1969-1990. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990. (1990). Metode Pengujian Kadar Air Agregat. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1972-1990. (1990). Metode Pengujian Slump Beton. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1974-1990. (1990). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004. (2004). Semen Portland. Bandung: Badan standardisasi Nasional.
- SNI 03-1969-1990. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat kasar. Bandung: Badan standardisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus.Bandung: Badan standardisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990. (1990). Metode Pengujian Kadar Air Agregat. Bandung: Badan standardisasi Nasional.
- SNI 03-2834-1993.(1993). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Bandung: Badan standardisasi Nasional.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri