

STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI AGREGAT KASAR BUATAN BETON STRUKTURAL

Muhammad Farich Azka¹

¹Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara
muhammadfarichazka@gmail.com

Abstrak

Beton adalah salah satu bahan bangunan teknik sipil dan memegang peranan penting dalam teknik konstruksi. Beton struktural merupakan jenis beton yang dimanfaatkan guna menanggung beban struktur dalam sebuah pembangunan. Beton struktural dapat diartikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan paling kecil 17 MPa saat umur 28 hari. Kegiatan industri seperti PLTU selain menghasilkan berbagai barang serta jasa, juga menghasilkan limbah diantaranya *fly ash* serta *bottom ash*. Proses pemanfaatan limbah dilakukan dengan berbagai cara diantaranya pemulihan, penggunaan kembali, dan daur ulang. Pemanfaatan ini diharapkan dapat meminimalisir limbah yang dihasilkan dari segi kuantitas dan kualitas, serta akan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam. Pada penelitian kali ini direncanakan mutu beton silinder yaitu f'_c 17-30 MPa menggunakan *mix design* dengan perbandingan 1 : 1,5 : 2,5 yaitu (Semen : Pasir : Agregat Kasar Buatan). Sampel uji yang digunakan adalah beton silinder ukuran 15 x 30cm dengan sampel uji berjumlah 4 sampel yang nantinya akan dilakukan uji kuat tekan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari.

Kata kunci: Beton Struktural, Pemanfaatan, *Fly Ash*, *Bottom Ash*, dan Agregat buatan

Abstract

Concrete is a civil engineering building material and plays an important role in construction engineering. Structural concrete is a type of concrete that is used to bear the load of the structure in a construction. Structural concrete can be defined as concrete that has a compressive strength of at least 17 MPa at 28 days of age. Industrial activities such as PLTU, in addition to producing various goods and services, also produce waste including fly ash and bottom ash. The process of utilizing waste is carried out in various ways including recovery, reuse, and recycling. This utilization is expected to minimize the waste generated in terms of quantity and quality, and will optimize the use of natural resources. In this study, the quality of cylindrical concrete was planned, namely f'_c 17-30 MPa using a mix design with a ratio of 1: 1.5: 2.5, namely (Cement: Sand: Artificial Coarse Aggregate). The test sample used was cylindrical concrete measuring 15 x 30cm with 4 test samples which would later be tested for compressive strength on concrete aged 7, 14 and 28 days.

Keywords: *Structural Concrete, Utilization, Fly Ash, Bottom Ash, and Artificial Aggregates*

Pendahuluan

Konstruksi prasarana dan permintaan perumahan memacu inovasi di bidang rekayasa struktur, khususnya dalam teknologi bahan bangunan. Inovasi yang dilakukan diantaranya bertujuan untuk menghasilkan material struktur yang memiliki sifat-sifat yang baik dengan metode dan biaya yang ekonomis. Salah satu bahan bangunan yang

banyak digunakan adalah beton struktural. Beton ialah salah satu material konstruksi pekerjaan sipil yang sangat berperan penting dalam pembangunan. Beton struktural merupakan jenis beton yang dimanfaatkan guna menanggung beban struktur dalam sebuah pembangunan. Beton struktural dapat diartikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan paling kecil 17 MPa saat umur 28 hari.

Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural

Beton sebagai salah satu material konstruksi yang mempunyai susunan dari berbagai variabel campuran, diantaranya adalah agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir) sebagai bahan pengisi, serta semen dan juga air sebagai bahan pengikat.

Hal yang menjadi acuan dalam pemilihan serta penggunaan beton sebagai bahan konstruksi yaitu dari segi efektifitasnya dan efisiensinya. Pada umumnya bahan pengisi beton tersusun dari bahan yang mudah didapat, mudah dalam pengerjaannya (*workability*), serta memiliki daya tahan dan kekuatan yang sangat dibutuhkan dalam suatu konstruksi. Beton dengan mutu yang baik memiliki kelebihan yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap karat atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, serta kedap terhadap cuaca (panas, dingin, sinar matahari, maupun hujan). Beton juga memiliki kelemahan yaitu lemah dalam segi kuat tarik, mengembang serta menyusut apabila terjadi perubahan temperatur, sulit kedap air secara sempurna, dan bersifat getas. Kedepannya pembangunan di Indonesia masih akan difokuskan pada sektor industri diantaranya PLTU sebagai industri tekstil dengan batubara sebagai bahan bakarnya. Kegiatan industri seperti PLTU selain menghasilkan berbagai barang serta jasa, juga akan menghasilkan limbah diantaranya *fly ash* serta *bottom ash* (FABA).

Dalam penelitian ini digunakan abu sisa pembakaran batubara yaitu *fly ash* serta *bottom ash* yang termasuk dalam jenis limbah sebagai agregat kasar buatan beton struktural. Limbah padat sisa proses pembakaran batubara berupa partikel abu terbang yang sering dijumpai pada proyek industri PLTU biasa disebut *fly ash*. Partikel abu yang terbawa oleh gas buang disebut *fly ash*. *Bottom ash* adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembangkitan listrik, dan ukuran partikelnya agak besar serta agak berat dari *fly ash*, sehingga partikel akan jatuh ke dasar. Proses pemanfaatan limbah FABA dilakukan dengan berbagai cara diantaranya yang dapat diperoleh kembali, digunakan kembali, dan didaur ulang. Pemanfaatan ini diharapkan dapat mengurangi kuantitas dan kualitas limbah yang dihasilkan, serta akan mengoptimalkan penggunaan sumber daya alamnya.

Dengan pertimbangan di atas, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh abu

terbang sebagai agregat buatan beton struktural. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi permasalahan yang ditimbulkan oleh *fly ash* serta *bottom ash* serta dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik beton, yang terdiri dari kuat tekan beton, dan kuat lentur beton, serta menekan biaya pembuatan beton sehingga menjadi hemat. Prosentase penggunaan FABA sebagai agregat kasar buatan beton struktural dibuat bervariasi untuk menjaga kualitas beton. Berdasarkan ulasan diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik agregat kasar buatan dari limbah (*fly ash* + *bottom ash*) dan limbah (*fly ash* + pasir) menggunakan molaritas 10?
2. Bagaimana kuat tekan optimum beton struktural dengan agregat kasar buatan?
3. Berapakah proporsi optimum penggunaan bahan yang diperlukan untuk agregat kasar buatan?

Beton Struktural

Beton struktural merupakan ragam beton yang digunakan untuk menanggung beban terstruktur. Maka dari itu, pembuatan beton struktural sangat membutuhkan perhitungan yang konkrit dan tepat serta bahan yang dipakai harus memiliki spesifikasi tertentu. Beton struktural juga dapat diartikan dengan beton yang digunakan pada komponen struktur untuk menahan beban dan memiliki kekuatan tekan yang disyaratkan minimal 17 MPa (SNI 6880:2016).

Beton struktural atau disebut juga beton bertulang modern memiliki banyak bahan tulangan seperti baja, polimer atau bahan lainnya, dengan atau tanpa tulang. Beton bertulang juga dapat menahan tegangan permanen, yang meningkatkan kinerja struktur bangunan saat menerima beban. Di AS, metode yang paling umum adalah pre-tensioning dan post-tensioning. Agar struktur akhir menjadi kuat, ulet dan tahan lama, bahan tulang harus memiliki kekuatan tinggi, elastisitas tinggi, daya rekat yang baik pada beton, tahan panas, tahan korosi dan tegangan yang berkelanjutan.

Beton struktural banyak digunakan dalam konstruksi seperti pelat, dinding, balok, kolom, pondasi, dll. Beton bertulang bisa dipasang dengan dua cara yaitu pembentukan terlebih dahulu, kemudian pemasangan dan penuangan pada tempatnya. Desain dan

Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural

implementasi konstruksi lantai yang efisien merupakan kunci untuk menciptakan struktur bangunan terbaik. Perubahan kecil dalam desain konstruksi lantai dapat berdampak signifikan pada biaya material, jadwal konstruksi, kekuatan, biaya operasi, hunian dan penggunaan bangunan. Tanpa tulangan, tidak mungkin membangun struktur modern dari beton.

Mortar Geopolimer

Mortar Geopolimer adalah jenis mortar yang 100 % tidak menggunakan semen. Fly ash dari pembakaran batubara digunakan sebagai sumber bahan pengikat yang dibutuhkan untuk membuat campuran beton. Beton geopolimer dibentuk oleh reaksi kimia, bukan reaksi hidrasi seperti beton biasa. Oleh karena itu, jenis aktivator harus sesuai dengan senyawa yang terkandung dalam fly ash, dan komposisi yang tepat agar reaksi kimia dapat terjadi (Ekaputri, 2007).

Material dasar atau material asal untuk bahan pengikat geopolimer yang dipergunakan sebagai pembuatan mortar geopolimer bisa didapat dari berbagai sumber, dimana material-material ini mempunyai kandungan silikon dan aluminium yang tinggi. Material-material tersebut diantaranya adalah abu terbang, metakaolin, slag, abu sekam padi dan abu vulkanik. Dalam penelitian ini material asal yang digunakan adalah abu terbang. Tidak seperti beton dengan bahan pengikat semen portland yang mengalami pengerasan atau mendapatkan kekuatannya karena reaksi hidrasi dan pembentukan kalsium-silikat-hidrat (*CSHs-calcium-silica-hydrates*), bahan pengikat geopolimer terbentuk melalui reaksi kimia dari oksida-oksida silikon dan aluminium dengan alkali polisilikat dan membentuk polimer dengan ikatan-ikatan Si-O-Al (Wallah, 2014).

Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan material yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai. Pembakaran batubara banyak digunakan di pembangkit listrik tenaga uap. Produk limbah dari pembangkit listrik mencapai 1 juta ton per tahun. *Fly ash* juga diproduksi oleh pabrik kertas dan pabrik kimia. Sekitar 75% - 90% partikel abu yang keluar melalui cerobong dapat ditangkap oleh sistem elektrostatis dari presipitator. Sisanya terdapat di dasar tungku (*bottom ash*). Kualitas

Fly Ash tergantung dari kesempurnaan proses pembakaran.

Material ini memiliki kadar bahan semen yang tinggi dan bersifat pozzolanik. *Fly Ash* sebagian besar mengandung silikat dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta sejumlah kecil magnesium, kalium, natrium, titanium, dan belerang. Sebagian besar komposisi kimia *fly ash* tergantung pada jenis batubaranya. Menurut ASTM C618-86, ada dua jenis *fly ash*, kelas F dan kelas C. Kelas F dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit dan bituminus, sedangkan kelas C terbuat dari batubara lignit dan subituminus (Engel, 2014).

Fly Ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3) yaitu :

1. Kelas C

Fly ash dengan kandungan CaO lebih dari 10% dihasilkan dari pembakaran lignit atau batubara sub-bituminus (light coal). Gunakan hingga 15% - 35% total berat pengikat dalam campuran beton.

2. Kelas F

Fly ash dengan kandungan CaO kurang dari 10% dan pengikat yang digunakan dalam campuran beton hingga 15%-25%.

3. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat diklasifikasikan antara lain *diatomic earth, opaline chert and shale, tuff* dan abu vulkanik, yang biasanya diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Ini juga memiliki sifat pozzolan yang baik.

Kandungan kimia yang dibutuhkan dalam *fly ash* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kandungan Kimia *Fly Ash*

Senyawa Kimia	Jenis F	Jenis C
Oksida Silika (SiO_2) + Oksida Alumina (Al_2O_3) + Oksida Besi (Fe_2O_3), minimum %	70,0	50,0
Trioksida Sulfur (SO_3), maksimum %	5,0	5,0
Kadar Air, maksimum %	3,0	3,0
Kehilangan Panas, maksimum %	6,0 ^A	6,0

Abu Padat (*Bottom Ash*)

Bottom ash dapat dihasilkan jika pembakaran batubara dan karbon tidak sempurna. *Bottom ash* berwarna coklat kekuningan atau abu-abu tua sampai hitam, berpori (*porous*), sebagian besar berukuran sama dengan pasir atau partikel *basic ash* yang jauh lebih kasar dari *fly ash* dengan ukuran

Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural

butir berkisar dari pasir halus sampai kerikil. Karakteristik abu dasar tergantung pada jenis tungku ketel yang digunakan untuk membakar batubara, jenis batubara, sistem pengangkutan (kering atau basah), apakah abu dasar digiling sebelum diangkat dan disimpan. Pada dasarnya komposisi kimia *bottom ash* sama dengan *fly ash*, tetapi secara khas mengandung banyak karbon yang lebih besar (Husin & Agustiningtyas, 2008).

Kandungan kimia yang terdapat pada *bottom ash* dijelaskan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kandungan Kimia *Bottom Ash*

Parameter	<i>Bottom Ash</i> (%)
Si	24,10
Al	6,80
Fe	33,59
Ca	26,30

Mix Design Mortar Geopolimer

Pada penelitian kali ini presentase variasi campuran antara (*fly ash + bottom ash*) dan (*fly ash + pasir*) per sampel yang diperlukan untuk sampel mortar geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Mix Design Mortar Geopolimer

No	Mix Design	Jumlah Sampel	Komposisi Bahan (gram)				
			Fly Ash	Bottom Ash	FAS	NaOH	Waterglas
Mortar (<i>fly ash+bottom ash</i>)							
1	(1 : 1,5)	12	1.248	1.872	624	208	416
2	(1 : 2)	12	1.039	2.080	519,5	173,2	346,3
3	(1 : 2,5)	12	892	2.228	446	148,7	297,3
Mortar (<i>fly ash+pasir</i>)							
1	(1 : 1,5)	12	1.248	1.872	624	208	416
2	(1 : 2)	12	1.039	2.080	519,5	173,2	346,3
3	(: 2,5)	12	892	2.228	446	148,7	297,3

Pada penelitian ini presentase variasi *fly ash* menjadi patokan pengganti dari volume berat semen dengan FAS sebesar 0,5. Pembuatan sampel mortar geopolimer sebagai bahan uji yang nantinya akan dibuat agregat kasar memiliki dimensi cetakan dengan ukuran 5 cm x 5 cm. Molaritas yang dipakai dalam variasi campuran mortar geopolimer adalah 10 Mol dengan perbandingan (1 : 2) untuk NaOH dan *Waterglass* dengan jumlah sampel benda uji sebanyak 115 sampel diambil dari kombinasi variasi terbaik antara mortar geopolimer *fly ash + bottom ash* dengan *fly ash + pasir* dengan jangka waktu uji pada beton umur 28 hari. Penelitian ini bertujuan guna mencari nilai kuat tekan terbaik mortar geopolimer yang mana nanti akan digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada pembuatan beton struktural silinder dimensi 15 x 30cm.

Mix Design Beton Silinder

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kuat tekan. Uji kuat tekan dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari. Pada penelitian ini direncanakan mutu beton silinder yaitu $f'c$ 17-30 MPa menggunakan komposisi campuran agregat buatan sebagai bahan pembuat beton menggunakan mix design dengan perbandingan 1 : 1,5 : 2,5 yaitu (Semen : Pasir : Agregat kasar buatan). Sampel yang digunakan yaitu beton silinder diameter 15 x 30 cm dengan sampel uji berjumlah 4 sampel pada setiap umurnya dengan uji kuat tekan dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari.

Agregat kasar pada penelitian kali ini berasal dari pecahan mortar yang berbahan dasar kombinasi (*fly ash + bottom ash*) dan (*fly ash + pasir*) yang nantinya akan diambil komposisi terbaik dari setiap presentase variasi campurannya. Cetakan yang digunakan untuk uji kuat tekan mortar geopolimer adalah cetakan dengan ukuran 5 x 5cm. Cetakan yang digunakan untuk uji kuat tekan beton adalah cetakan silinder yang ada di Laboratorium Teknik Sipil Unisnu. Uji kuat tekan menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan dimensi 15 x 30 cm.

Mix design serta kebutuhan bahan yang digunakan dalam pembuatan beton silinder agregat kasar normal maupun agregat kasar buatan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

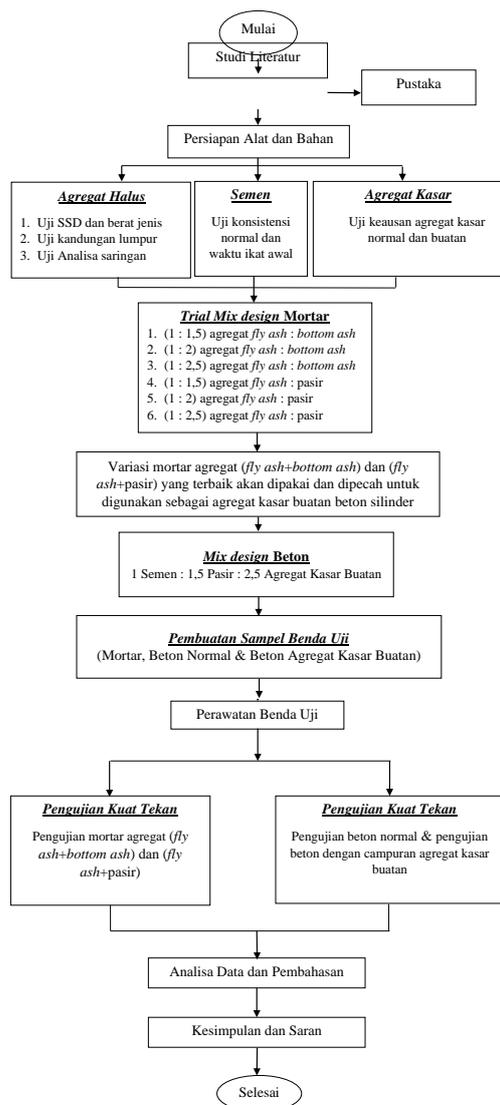
Tabel 4. Mix Design Beton Silinder

No	Mix Design	Jumlah Sampel	Komposisi Bahan (gram)			
			Semen	Pasir	Kerikil	Agregat Buatan
Beton agregat kasar normal						
1	(1 : 1,5 : 2,5)	12	31.200	46.800	78.000	-
Beton agregat kasar buatan						
1	(1 : 1,5 : 2,5)	12	24.000	36.000	-	60.000

Diagram Alir

Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode eksperimental yang mana metode yang dipakai pada penelitian ini bertujuan guna mencari pengaruh perlakuan tertentu pada beton. Diagram alir dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural



Gambar 1. Diagram Alir

Kuat Tekan

Kuat tekan ialah kemampuan benda uji untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Meskipun ada tegangan tarik kecil pada benda uji, dijelaskan bahwa seluruh tegangan tekan didapat oleh benda uji tersebut. Kuat tekan beton merupakan aspek yang menentukan kualitas struktur beton itu sendiri. Perencanaan kualitas struktur beton yang tinggi, menghasilkan tingginya kualitas beton tersebut. Kuat tekan termasuk bagian dari kinerja utama beton.

Menurut (Departemen Pekerjaan Umum, 1990/ SNI 03-1974-1990) bekerja dengan kuat tekan merupakan besar suatu beban satuan luas yang dapat mengakibatkan sampel beton

hancur bila diberi beban suatu gaya tekan didapatkan dari uji tekan mesin.

Ditinjau dari kuat tekannya, beton dibedakan menjadi 3 macam yaitu sebagai berikut :

1. Pada mutu beton yang memiliki $f'c$ kurang dari 10 MPa, digunakan sebagai beton non struktural seperti pada kolom praktis, dan juga balok praktis.
2. Pada mutu beton yang memiliki $f'c$ sebesar 10 MPa hingga 20 MPa, digunakan sebagai beton dengan struktur seperti pada balok, pelat, kolom, dan juga fondasi.
3. Pada mutu beton yang memiliki $f'c$ sebesar 20 MPa atau lebih, digunakan sebagai struktur beton yang dapat direncanakan sebagai bangunan yang tahan terhadap gempa

Dalam uji kuat tekan, sampel beton dengan cetakan silinder beton yang memiliki ukuran diameter 15 x 30 cm ditekan dengan beban P sampai mengalami retakan atau runtuh. Dikarena adanya beban P yang menekan beton, maka dapat terjadi tegangan tekan pada beton ($f'c$) dengan sebesar beban (P) dan dibagi lagi dengan luas penampangnya (A), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

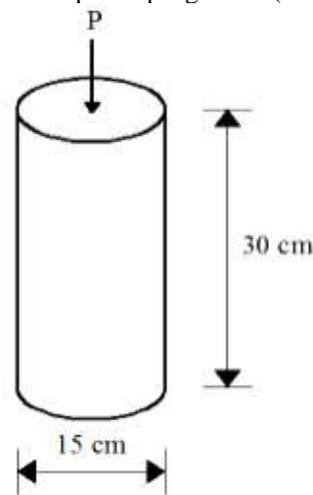
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

$f'c$: Tegangan tekan beton (MPa)

P : Besar beban tekan (N)

A : Luas penampang beton (mm²)



Gambar 2. Sketsa Sampel Beton

Nilai kuat tekan akhir beton silinder juga dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$X = \bar{X}rt - (1,645 \times SD) \quad (2)$$

Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural

Dimana :

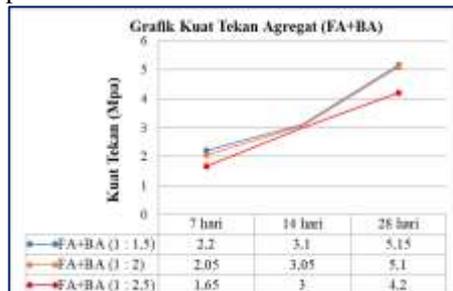
- X : Nilai kuat tekan akhir beton
- Xrt : Rata-rata kuat tekan akhir beton
- SD : Standar deviasi

Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Kuat tekan mortar pada penelitian ini memiliki 2 jenis mortar agregat berbeda dengan 3 variasi perbandingan.

1. Mortar Agregat *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

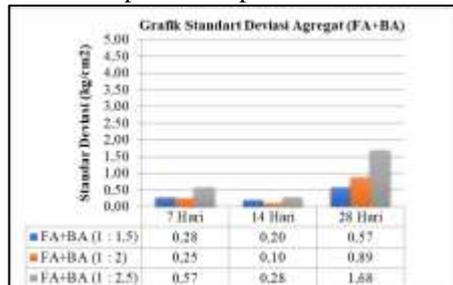
Nilai kuat tekan mortar agregat *fly ash* dan *bottom ash* dapat dilihat dengan grafik pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Mortar Agregat FA+BA

Berdasarkan **Gambar 3**, dapat dilihat kuat tekan mortar agregat *fly ash* + *bottom ash* (FABA) variasi (1 : 1,5) umur 7 hari yaitu sebesar 2,2 MPa, umur 14 hari yaitu sebesar 3,1 MPa, dan umur 28 hari yaitu sebesar 5,15 MPa. Sedangkan untuk variasi lainnya mengalami penurunan kuat tekan dikarenakan semakin banyak perbandingan pada agregat *bottom ash* maka semakin sedikit penambahan zat aktivatornya. Hal ini menjadikan mortar semakin ringan karena kurangnya zat pengikat dengan berakibat semakin rendah nilai kuat tekannya.

Grafik standar deviasi mortar agregat FA+BA dapat dilihat pada **Gambar 4**.

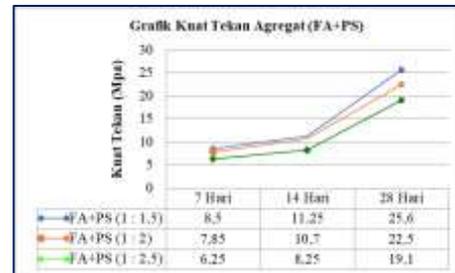


Gambar 4. Grafik Standar Deviasi Mortar Agregat FA+BA

Berdasarkan **Gambar 4**, dapat dilihat standart deviasi pada tiap variasi mortar agregat FABA memiliki nilai yang berbeda. Standart deviasi untuk variasi (1 : 1,5) umur 7 hari sebesar 0,28 MPa, umur 14 hari sebesar 0,20 MPa, dan umur 28 hari sebesar 0,57 MPa. Standart deviasi untuk variasi (1 : 2) umur 7 hari sebesar 0,25 MPa, umur 14 hari sebesar 0,10 MPa, dan umur 28 hari sebesar 0,89 MPa. Standart deviasi untuk variasi (1 : 2,5) umur 7 hari sebesar 0,57 MPa, umur 14 hari sebesar 0,28 MPa, dan umur 28 hari sebesar 1,68 MPa. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa semua variasi dikategorikan ke dalam kondisi pengerjaan yg sempurna karena memiliki nilai standar deviasi kurang dari 3 MPa.

2. Mortar Agregat *Fly Ash* dan Pasir

Nilai kuat tekan mortar agregat *fly ash* dan pasir dapat dilihat dengan grafik pada **Gambar 5**.

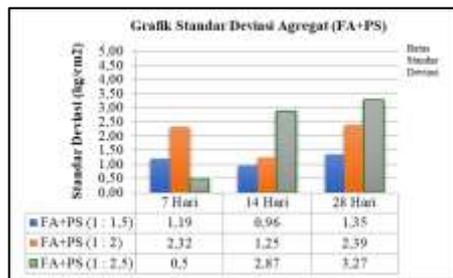


Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Mortar Agregat FA+PS

Dilihat pada **Gambar 5**, diketahui kuat tekan mortar agregat *fly ash* + pasir (FA+PS) variasi (1 : 1,5) umur 7 hari yaitu sebesar 8,5 MPa, umur 14 hari yaitu sebesar 11,25 MPa, dan umur 28 hari yaitu sebesar 25,6 MPa. Sedangkan untuk variasi lainnya mengalami penurunan kuat tekan dikarenakan semakin banyak perbandingan pada agregat pasir maka semakin sedikit penambahan zat aktivatornya. Hal ini menjadikan mortar semakin ringan karena kurangnya zat pengikat dengan berakibat semakin rendah nilai kuat tekannya.

Grafik standar deviasi mortar agregat FA+PS dapat dilihat pada **Gambar 6**.

Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural



Gambar 6. Grafik Standar Deviasi Mortar Agregat FA+PS

Dilihat pada **Gambar 6**, standart deviasi pada tiap variasi mortar agregat FA+PS memiliki nilai yang berbeda. Standart deviasi untuk variasi (1 : 1,5) umur 7 hari sebesar 1,19 MPa, umur 14 hari sebesar 0,96 MPa, dan umur 28 hari sebesar 1,35 MPa. Standart deviasi untuk variasi (1 : 2) umur 7 hari sebesar 2,32 MPa, umur 14 hari sebesar 1,25 MPa, dan umur 28 hari sebesar 2,39 MPa. Standart deviasi untuk variasi (1 : 2,5) umur 7 hari sebesar 0,50 MPa, umur 14 hari sebesar 2,87 MPa, dan umur 28 hari sebesar 3,27 MPa. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa hampir semua variasi dikategorikan ke dalam kondisi pengerjaan yg sempurna karena memiliki nilai standar deviasi kurang dari 3 MPa. Namun standar deviasi pada mortar FA+PS variasi (1 : 2,5) umur 28 hari termasuk dalam kondisi pengerjaan yang baik karena memiliki nilai standar deviasi antara 3,5 - 4 MPa.

Kuat Tekan Beton Silinder

Setelah dilakukan trial *mix design* mortar geopolimer dengan agregat (*fly ash + bottom ash*) dan (*fly ash + pasir*) didapatkan hasil terbaik pada mortar geopolimer agregat (*fly ash + pasir*) yang nantinya akan dipecah seukuran kerikil dan digunakan sebagai agregat kasar buatan pada pembuatan sampel beton silinder dengan perbandingan (1 : 1,5 : 2,5).

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan 2 jenis sampel beton dengan agregat kasar berbeda dengan 1 *mix design* yang sama.

1. Beton Agregat Kasar Normal

Nilai kuat tekton beton silinder agregat kasar normal (kerikil) dapat dilihat dengan grafik pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan Beton Agregat Kasar Normal

Dilihat pada **Gambar 7**, beton pada umur 7 hari memiliki kuat tekan sebesar 12,3 MPa, 14 hari sebesar 16,2 MPa, dan 28 hari sebesar 26,3 MPa. Hal ini dapat disimpulkan bahwa rata-rata kuat tekan beton silinder agregat kasar normal (kerikil) mengalami kenaikan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton. Dalam hal ini dapat disimpulkan juga bahwa semakin lama umur beton dapat mempengaruhi kualitas kuat tekan pada beton karena dipengaruhi oleh faktor perendaman yang semakin lama pada beton sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

2. Beton Agregat Kasar Buatan

Nilai kuat tekton beton silinder agregat kasar buatan (pecahan mortar agregat FA+PS) dapat dilihat dengan grafik pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Grafik Kuat Tekan Beton Agregat Kasar Buatan

Dilihat pada **Gambar 8**, beton pada umur 7 hari memiliki kuat tekan sebesar 11,8 MPa, 14 hari sebesar 15,2 MPa, dan 28 hari sebesar 18,8 MPa. Hal ini dapat disimpulkan bahwa rata-rata kuat tekan beton silinder agregat kasar buatan (pecahan mortar agregat FA+PS) mengalami kenaikan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton serta semakin lama umur beton dapat mempengaruhi kualitas kuat tekan pada beton karena

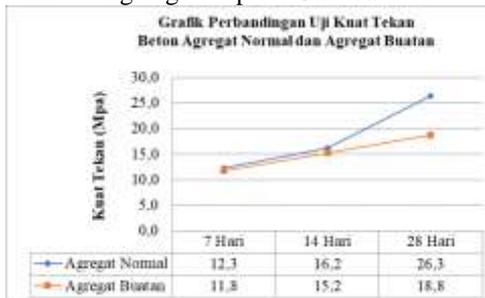
Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural

dipengaruhi oleh faktor perendaman yang semakin lama pada beton sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa beton silinder agregat kasar buatan (pecahan mortar agregat FA+PS) dengan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 18,8 MPa dinyatakan layak dan masuk dalam kategori beton struktural kelas II dengan minimal kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 17 MPa.

Perbandingan Kuat Tekan Beton Agregat Kasar Normal dan Agregat Kasar Buatan

Perbandingan kuat tekan beton agregat kasar normal dan agregat kasar buatan dapat dilihat dengan grafik pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Agregat Kasar Normal dan Agregat Kasar Buatan

Dilihat pada **Gambar 9**, bahwa rata-rata kuat tekan beton silinder agregat kasar normal (kerikil) maupun beton silinder agregat kasar buatan (FA+PS) mengalami kenaikan kuat tekan seiring bertambahnya umur pada beton. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin lama umur beton dapat mempengaruhi kualitas kuat tekan pada beton karena dipengaruhi oleh faktor perendaman yang semakin lama pada beton sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Karakteristik dan kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* + *bottom ash* (FA+BA) maupun berbahan dasar *fly ash* + pasir (FA+PS) berpengaruh dengan zat aktivatornya yaitu berupa NaOH dan *Watterglass* dengan perbandingan (1:2). Semakin bertambahnya kadar zat aktivator maka berat mortar akan bertambah dan kuat

tekannya semakin baik dan apabila kadar zat aktivator berkurang maka berat dan kuat tekan mortar akan semakin buruk. Variasi perbandingan pada mortar juga sangat berpengaruh terhadap kuat tekan mortar karena berhubungan dengan substitusi gradasi *bottom ash* maupun pasir. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan gradasi tertahan saringan nomor 1,18 untuk *bottom ash* dan tertahan ke bawah saringan nomor 2,36 untuk pasir didapatkan hasil yang cukup baik. Namun setelah dilakukan percobaan didapatkan hasil lebih baik jika menggunakan gradasi yang lebih halus.

2. Didapatkan hasil kuat tekan optimum pada beton agregat kasar buatan (*fly ash* + pasir) yaitu sebesar 18,8 MPa pada umur 28 hari. Sebesar 11,8 MPa untuk umur 7 hari, dan sebesar 15,2 MPa untuk umur 14 hari. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas kuat tekan beton agregat kasar buatan tergolong dalam beton struktural kelas II dengan kuat tekan minimum sebesar 17 MPa pada umur 28 hari.
3. Setelah banyak dilakukan trial mix dan uji kuat tekan mortar berbahan dasar (*fly ash* + *bottom ash*) dan (*fly ash* + pasir), didapatkan hasil yang paling baik dari 2 variasi mortar tersebut adalah mortar berbahan dasar (*fly ash* + pasir) yang mana nantinya akan digunakan sebagai agregat kasar buatan berupa mortar geopolimer dan akan dipecah sebagai agregat kasar buatan untuk beton silinder. Diketahui penggunaan proporsi optimum sebesar 11.960 gram untuk proporsi optimum *fly ash*, dan sebesar 17.940 gram untuk proporsi optimum pasir dengan jumlah sampel mortar sebanyak 115 sampel.

Saran

Berdasarkan dari kesimpulan pada penelitian ini, maka dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan gradasi agregat yang lebih halus dalam pembuatan sampel mortar agar memperoleh kualitas yang lebih baik.
2. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya lebih banyak melakukan trial mix dengan variasi serta agregat yang beragam.
3. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya pihak laboratorium lebih memperhatikan kesiapan alat dan fasilitas praktikum guna

Studi Eksperimental Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Kasar Buatan Beton Struktural

memudahkan mahasiswa serta menunjang lebih cepat dan efisien dalam terselesainya penelitian.

Daftar Rujukan

- Ekaputri, J. J. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa power paiton sebagai material alternatif. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Teknik Sipil "TORSI,"* 13(December 2007), 33–47.
- Husin, A. A., & Agustiningtyas, R. S. (2008). Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kualitas Bata Beton. *Jurnal Permukiman*, 3(3), 196.
- PBI. (1971). Penjelasan & Pembahasan mengenai Peraturan Beton Indonesia 1971. *Badan Standardisasi Indonesia*, VII–6.
- SNI 6880:2016, S. (2016). Spesifikasi beton struktural. *Sni 6880:2016, 1*, 1–12.
- SNI 03-1974. (1990). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Wallah, S. E. (2014). Pengaruh Perawatan dan Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol. 4 No.*(ISSN: 2087-9334), 1–7.