

# Penggunaan Fly Ash sebagai Agregat Buatan Pengganti Agregat Alami pada Campuran Beton

## Fly Ash Utilization as the Artificial Aggregates in Concrete Mixture

Adriyan Candra Purnama<sup>1,a)</sup> & Januarti Jaya Ekaputri<sup>1,b)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia 60111

Correspondent : <sup>a)</sup>mikaeladriyan@gmail.com & <sup>b)</sup>januartije@gmail.com

### ABSTRAK

Beton merupakan bahan komposit yang tersusun dari campuran agregat kasar, agregat halus, semen, dan air. Semakin gencarnya pembangunan infrastruktur, mengakibatkan ketersediaan bahan baku berkurang. Bahan baku material beton berupa agregat kasar dan agregat halus yang berasal dari alam jika terus diambil secara berlebihan akan mengancam kondisi lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan alternative material pengganti agregat alam dengan agregat buatan. *Fly ash* yang merupakan limbah dari sisa pembakaran batu bara dapat dimanfaatkan sebagai agregat buatan pengganti agregat natural. Agregat buatan kasar dan halus dibentuk dengan menggunakan pasta berbahan dasar *fly ash*. Agregat buatan berbahan dasar pasta *fly ash* memiliki kuat tekan hingga 50,4 MPa. Agregat kasar dan agregat halus dari bahan buatan ini digunakan sebagai campuran pada beton. Hasil menunjukkan bahwa beton dengan menggunakan agregat natural memiliki kuat tekan sebesar 26,59 MPa dari kuat tekan rencana 25 MPa, sedangkan beton dengan menggunakan agregat buatan memiliki nilai kuat tekan 24,76 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat natural, dikarenakan kuat tekan yang dihasilkan beton dengan agregat buatan memiliki nilai kuat tekan yang hampir sebanding dengan beton dengan agregat natural.

**Kata Kunci** : abu terbang, geopolimer, agregat buatan, kuat tekan

### PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur adalah pembangunan segala jenis struktur yang di buat oleh manusia guna memenuhi fungsi kebutuhan publik seperti bendungan, jalan, jembatan pelabuhan, bandara, dan lain-lainnya (Suprayitno & Soemitro, 2018). Beton merupakan bahan dasar konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur. Beton adalah bahan komposit yang tersusun dari agregat kasar dan agregat halus yang diikat oleh campuran semen dan air. Ketersediaan bahan baku alam seringkali tidak bisa memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur di suatu daerah. Selain itu, bahan baku material beton berupa agregat kasar dan agregat halus yang berasal dari eksplorasi batuan alami, jika terus diambil secara berlebihan dapat mengancam kondisi lingkungan (Priyadharshini dkk, 2012). Oleh karena itu penggunaan agregat alami haruslah diimbangi dengan pemanfaatan material alternatif sebagai pengganti agregat alam seperti penggunaan abu batu sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton (Triaswati dkk, 2019) atau dengan penggunaan limbah batu bara (*fly ash*) sebagai agregat buatan pengganti agregat natural (Abdullah dkk, 2015).

*Fly ash* merupakan hasil sampingan industri dari proses pembakaran batubara pada PLTU (Subekti, 2012). *Fly ash* merupakan salah satu material yang memiliki sifat pozolan, yang artinya memiliki kandungan silika dan alumina yang dapat dijadikan sebagai pengikat

(binder) (Patil dkk, 2013)(Bakri dkk, 2012). *Fly ash* dapat disolidifikasikan seperti halnya semen melalui proses polimerisasi, yang artinya *fly ash* dapat dibentuk hingga memiliki tingkat kekerasan. *Fly ash* yang telah mengalami proses polimerisasi disebut dengan geopolimer (Davidovits, 2008). *Fly ash* diklasifikasikan menjadi 2 kelas yaitu kelas F dan kelas C. Kedua jenis kelas *fly ash* tersebut sama sama memiliki sifat pozolan. Untuk *fly ash* yang paling umum digunakan pada beton geopolimer adalah kelas F (Subekti, 2012)(Nurwidayati dkk, 2016). *Fly ash* memiliki banyak manfaat jika diaplikasikan pada berbagai jenis konstruksi (Zerfu & Ekaputri, 2016) baik sebagai campuran pada beton normal maupun sebagai bahan dasar beton geopolimer seperti sifat nya yang tahan terhadap lingkungan korosif dan memiliki rangkai susut yang kecil.(Triwulan dkk, 2016)

Pasta geopolimer berbahan dasar *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai agregat buatan pengganti agregat alami. Agregat alami memiliki berat jenis yang lebih berat dibandingkan dengan agregat geopolimer yaitu sebesar 2,7 g/cm<sup>3</sup> dan 2,1 g/cm<sup>3</sup>. Pori yang dimiliki agregat buatan cenderung lebih besar daripada agregat natural, sehingga resapan agregat buatan biasanya lebih besar dibandingkan dengan agregat alami namun memiliki kekuatan yang hampir sama. IMPact value agregat alami sebesar 8,62% dan agregat geopolimer sebesar 19,6% menunjukkan bahwa agregat alami lebih sulit dihancurkan. Agregat yang memiliki nilai impact value tidak lebih dari 40% dapat diterima sebagai material konstruksi (Abdullah dkk, 2015). Hasil dari kuat tekan beton dengan agregat buatan berbahan fly ash dapat mencapai hingga 23,8 MPa pada umur 28 hari (Ravisankar dkk, 2015). Kekuatan agregat tergantung juga pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan (Widayanti dkk, 2018) (Anandan & Manoharan, 2015). Studi lain tentang penggunaan pasta geopolimer sebagai agregat buatan yang digunakan pada campuran aspal beton menunjukkan bahwa agregat geopolimer sangat berpotensi sebagai pengganti agregat alam bergantung pada kandungan alkali activator nya (Karyawan dkk, 2017).

Alkali aktivator adalah campuran antara larutan NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. NaOH juga berfungsi dalam pembentukan zeolite dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> berfungsi dalam meningkatkan kuat tekan karena mempercepat terjadinya proses polimerisasi (Hardjito dkk, 2005). Campuran pasta geopolimer yang mengandung sedikit Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dalam larutan NaOH pekat tidak dapat mencapai kuat tekan yang tinggi. Oleh karena itu perbandingan NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> direkomendasikan sebesar 1-2,5 dengan konsentrasi NaOH diantara 8 M – 11 M (Ekaputri dkk, 2013)(Ekaputri 2007).

Dalam penelitian ini *fly ash* dijadikan sebagai bahan penyusun agregat buatan, terdapat dua jenis agregat buatan yaitu agregat buatan berbahan pasta geopolimer (AG) dan agregat buatan berbahan pasta semen yang mengandung *fly ash* (AO) sebagai pengganti agregat natural (AN) baik dalam bentuk agregat kasar maupun agregat halus. Kemudian agregat buatan dicampurkan ke dalam benda uji beton berbentuk silinder, balok, dan dog bone. Pada umur 28 hari benda uji silinder diuji tekan dan belah untuk mengetahui kuat tekan dan kuat belahnya. Benda uji balok diberikan beban lentur untuk mengetahui kuat lentur nya. Selain itu, pada benda uji berbentuk dog bone dilakukan tes uji tarik untuk mengetahui kuat tariknya.

## METODE PENELITIAN

### Persiapan Material

Dalam penelitian ini material yang digunakan diantaranya adalah:

1. *Fly ash* kelas F yang diambil dari PT Indonesia Power Unit Pembangkit Suralaya.
2. Alkali aktivator dengan pencampuran NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan perbandingan 2 :1. Konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 8 Molar.
3. Semen tipe I atau OPC (*Ordinary Portland Cement*)
4. Agregat alam berupa pasir dan batu pecah didapatkan sebagai bahan kontrol

## Pembuatan Agregat Buatan

Terdapat 2 macam agregat buatan yaitu agregat pasta geopolimer (AG) dan agregat pasta dari bahan campuran semen tipe I (OPC) dan *fly ash* (AO). Pasta AG dan pasta AO dibuat menjadi benda uji silinder pasta dan diberikan tes tekan untuk mengetahui kuat tekan dari campuran pasta tersebut sebagai bahan penyusun agregat buatan. Setelah kuat tekan pasta di dapat maka pasta AG dan pasta AO dibentuk menjadi agregat kasar dan agregat halus. Campuran agregat buatan memiliki komposisi seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Komposisi AG

Material	Jumlah kg/m <sup>3</sup>
<i>Fly Ash</i>	1800
Alkali	600
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	400
NaOH	200

**Tabel 2.** Komposisi AO

Jenis	Jumlah kg/m <sup>3</sup>
<i>Fly Ash</i>	840
Semen Tipe I (OPC)	840
W/S	720

## Pengujian Kuat Tekan Silinder Pasta

Pengujian kuat tekan silinder pasta (Gambar 1) dilakukan untuk menentukan kuat tekan pasta penyusun agregat buatan.



**Gambar 1.** Pengujian Silinder Pasta

Pengujian dilakukan pada benda uji berdimensi tinggi 10 cm dan diameter 5 cm, dengan umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Untuk menghitung besarnya kuat tekan silinder maka digunakan persamaan (1).

$$\sigma = \frac{P}{A} \times \frac{1}{g} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma$  = besarnya kuat tekan benda uji (MPa)

$P$  = gaya yang diberikan pada permukaan beton (kg)

$A$  = luas permukaan beton (cm<sup>2</sup>)

$G$  = percepatan gravitasi bumi = 9,8 m/s<sup>2</sup>

### Pengujian Material Agregat

Pengujian material agregat halus dan kasar meliputi pengujian berat jenis, penyerapan air, dan keausan batu pecah.

### Pembuatan Benda Uji Beton

Agregat buatan digunakan kedalam campuran beton untuk membuat benda uji silinder, balok dan dogbone. Benda uji silinder memiliki dimensi tinggi 20 cm dan diameter 10 cm, benda uji balok memiliki dimensi panjang 30 cm lebar 7,5 cm dan tinggi 7,5 cm. Benda uji dogbone memiliki dimensi panjang 7,62 cm, lebar tengah 2,54 cm dan tebal 2,54 cm. Campuran beton dengan agregat buatan direncanakan memiliki kuat tekan 25 MPa dengan campuran seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Komposisi Benda Uji Beton kg/m<sup>3</sup>

Kode	OPC	Agregat Halus	Agregat Kasar	air
AN+100%OPC	395	1080	720	205
AG+100%OPC	395	1080	720	205
AO+100%OPC	395	1080	720	205

### Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian kuat tekan silinder beton (Gambar 2) dilakukan untuk mengetahui perbedaan kuat tekan antara beton dengan agregat buatan dan beton dengan agregat alami. Pengujian kuat tekan ini dilakukan berdasarkan ASTM C-39. Benda uji silinder beton dengan dimensi tinggi 20 cm dan diameter 10 cm diuji tekan pada umur 28 hari.



**Gambar 2.** Pengujian Silinder Beton

### Pengujian Kuat Belah Silinder Beton

Pengujian kuat belah silinder beton (Gambar 3) dilakukan untuk mengetahui perbedaan kuat belah antara beton dengan agregat buatan dan beton dengan agregat alami.



**Gambar 3.** Pengujian Kuat Belah Silinder Beton

Pengujian kuat belah ini dilakukan berdasarkan ASTM C-496. Benda uji silinder beton dengan dimensi tinggi 20 cm dan diameter 10 cm diuji belah pada umur 28hari. Untuk menghitung besarnya kuat belah silinder maka digunakan pada persamaan (2).

$$T = \frac{2P}{\pi Ld} \quad (2)$$

Keterangan:

- T : kuat tarik belah (MPa)
- P : beban maksimum (N)
- l : Panjang benda uji (mm)
- d : diameter (mm)

### Pengujian Kuat Lentur Balok Beton

Pengujian kuat lentur balok beton (Gambar 4) dilakukan untuk mengetahui perbedaan kuat lentur antara beton dengan agregat buatan dan beton dengan agregat alami.



**Gambar 4.** Pengujian Kuat Lentur Balok Beton

Benda uji balok beton dengan dimensi 7,5 cm x 7,5 cm x 30 cm diuji lentur pada umur 28 hari. Untuk menghitung besarnya kuat lentur balok beton maka digunakan persamaan (3)

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (3)$$

Keterangan:

- R : kuat lentur balok (MPa)
- P : beban maksimum (N)
- L : Panjang balok (mm)
- b : lebar balok (mm)
- d : tinggi balok (mm)

### **Pengujian Kuat Tarik Mortar *Dogbone***

Pengujian kuat tarik mortar dogbone (Gambar 5) dilakukan untuk mengetahui perbedaan kuat tarik antara mortar dengan agregat buatan dan mortar dengan agregat alami. Pengujian kuat tarik ini dilakukan berdasarkan ASTM C-307. Benda uji dogbone diuji tarik pada umur 28 hari.

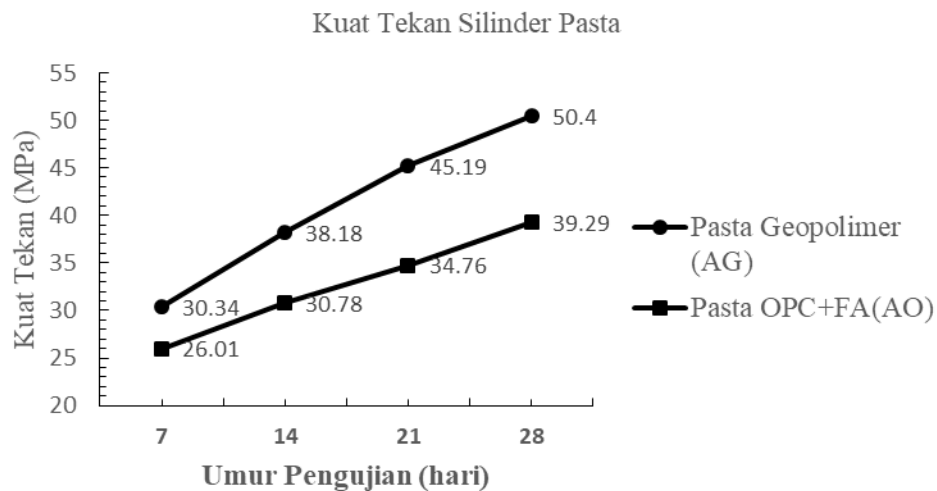


**Gambar 5.** Pengujian Kuat Tarik Mortar Dogbone

## **ANALISIS PENELITIAN**

### **Pengujian Kuat Tekan Silinder Pasta**

Hasil dari kuat tekan pasta AG dan pasta AO sebagai penyusun agregat buatan dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Kuat Tekan Silinder Pasta

Dari Gambar 1 didapatkan hasil bahwa agregat geopolimer memiliki kuat tekan sebesar 50,4 MPa dan agregat OPC+FA memiliki kuat tekan sebesar 39,29 MPa.

#### **Pembuatan Agregat Buatan**

Pembuatan agregat buatan dilakukan dengan cara mencetak pasta pada sebuah wadah seperti pada **Gambar 7**. Curing dilakukan dengan cara membungkus pasta tersebut dengan menggunakan kain basah untuk menjaga kelembaban (*moist curing*) selama 28 hari.



**Gambar 7.** Hasil Cetakan Pasta Sebagai Agregat Buatan

Setelah umur 28 hari pasta tersebut dihancurkan menggunakan crusher Gambar 8 untuk mendapatkan agregat kasar buatan Gambar 9 dan Gambar 10.



**Gambar 8.** Penghancuran Pasta Menjadi Agregat Kasar



**Gambar 9.** Agregat Kasar Buatan Berbahan Pasta AG



**Gambar 10.** Agregat Kasar Buatan Berbahan Pasta AO



Hasil agregat kasar tersebut lalu dilakukan analisa saringan untuk menentukan ukuran agregat yang di butuhkan. Agregat kasar yang lolos ayakan 4,75 mm dijadikan sebagai agregat halus. Pembuatan agregat halus dilakukan dengan cara menghaluskan agregat kasar tersebut dengan *ball mill*. Hasil agregat halus buatan dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



**Gambar 11.** Agregat Halus Buatan Berbahan Pasta AG



**Gambar 12.** Agregat Halus Buatan Berbahan Pasta AO

### Pengujian Material Agregat

Hasil dari analisa agregat buatan kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

**Tabel 4.** Analisa Agregat Kasar Buatan

Jenis Analisa	AN	AG	AO
Berat Jenis	2,66 gr	2,03 gr	1,9 gr
Penyerapan	1,6%	17,5%	23,0%
Keausan	31,73%	31,08%	35,40%

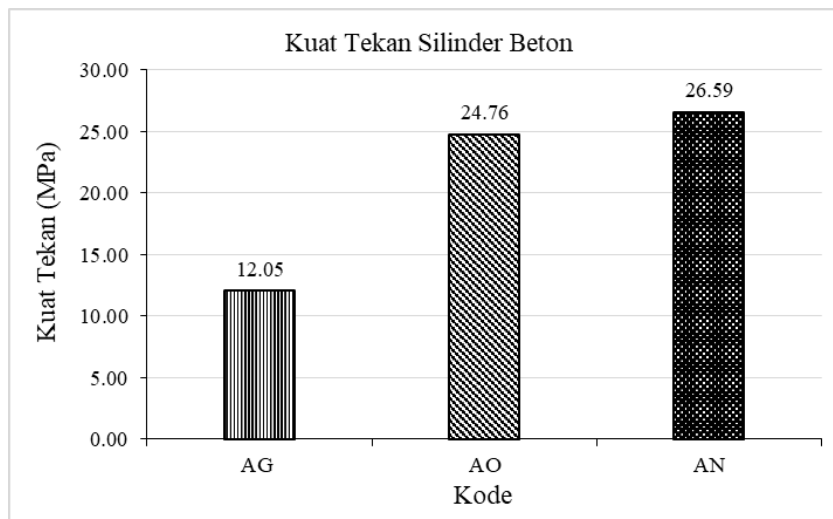
**Tabel 5.** Analisa Agregat Halus Buatan

Jenis Analisa	AN	AG	AO
Berat Jenis	2,7 gr	2,07 gr	2,06 gr
Penyerapan	0,91%	15,88%	22,25%

Diketahui bahwa berat jenis AN lebih besar jika dibandingkan dengan agregat buatan, dan AN memiliki nilai penyerapan air yang lebih kecil jika dibandingkan dengan agregat buatan. Pada hasil keausan didapatkan hasil AN memiliki nilai keausan sebesar 31,73%, AG sebesar 31,08%, dan AO sebesar 35,4%. Persyaratan minimum untuk nilai keausan agregat kasar berdasarkan ASTM C 131-03 adalah sebesar 50%. Maka dapat disimpulkan bahwa agregat kasar buatan yang digunakan telah sesuai dengan persyaratan dan dapat digunakan sebagai pengganti agregat alami.

### Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Hasil kuat tekan silinder tiap tiap campuran ditunjukkan pada Gambar 13.

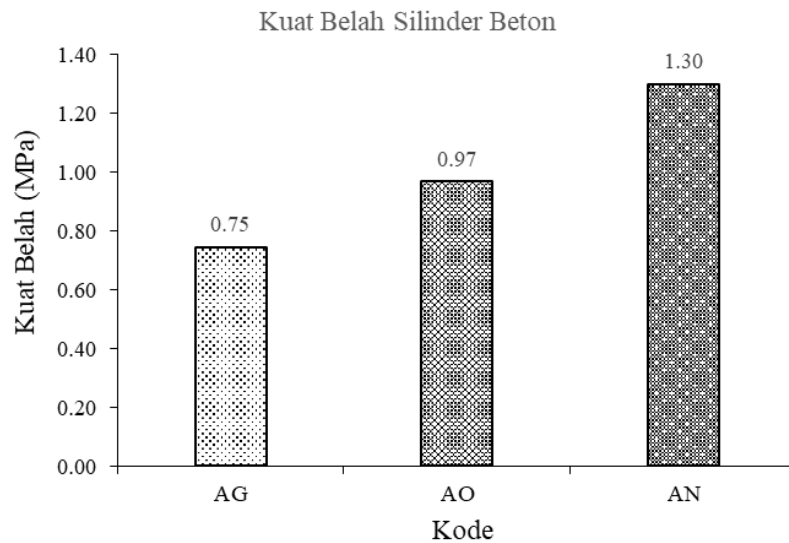


**Gambar 13.** Kuat Tekan Silinder Beton pada Umur 28 hari

Dari gambar kuat tekan silinder diatas didapatkan hasil bahwa campuran silinder menggunakan AN memiliki kuat tekan paling besar yaitu 26,59 MPa. Sedangkan hasil kuat tekan antara silinder AG dan AO, silinder AO memiliki kuat tekan sebesar 24,76 MPa dan silinder AG memiliki kuat tekan sebesar 12,05 MPa. Walaupun kuat tekan pasta AO lebih besar daripada pasta AG namun ketika sudah dicampurkan kedalam campuran beton, silinder AO memiliki kuat tekan yang lebih besar daripada silinder AO. Hal ini dikarenakan binder yang digunakan pada beton adalah OPC sedangkan AO juga terdiri dari pasta semen OPC, yang artinya agregat AO lebih dapat menyatu dengan campuran beton.

### Pengujian Kuat Belah Silinder

Hasil kuat belah silinder tiap tiap campuran ditunjukkan pada Gambar 14.

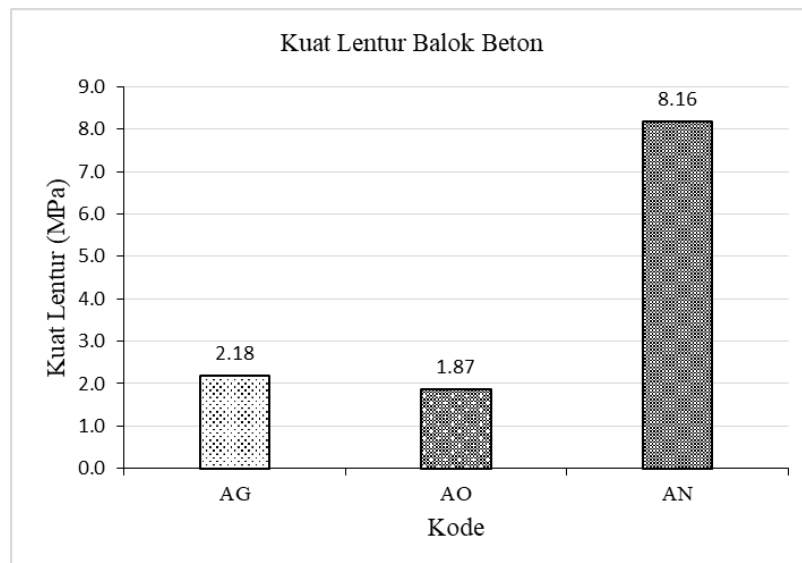


**Gambar 14.** Kuat Belah Silinder Beton

Dari gambar 9 didapatkan hasil bahwa silinder AN memiliki kuat belah yang paling besar yaitu 1,3 MPa, disusul dengan AO sebesar 0,97 MPa dan AG sebesar 0,75 MPa.

#### **Pengujian Kuat Lentur Balok Beton**

Hasil kuat lentur balok tiap tiap campuran ditunjukkan pada Gambar 15.

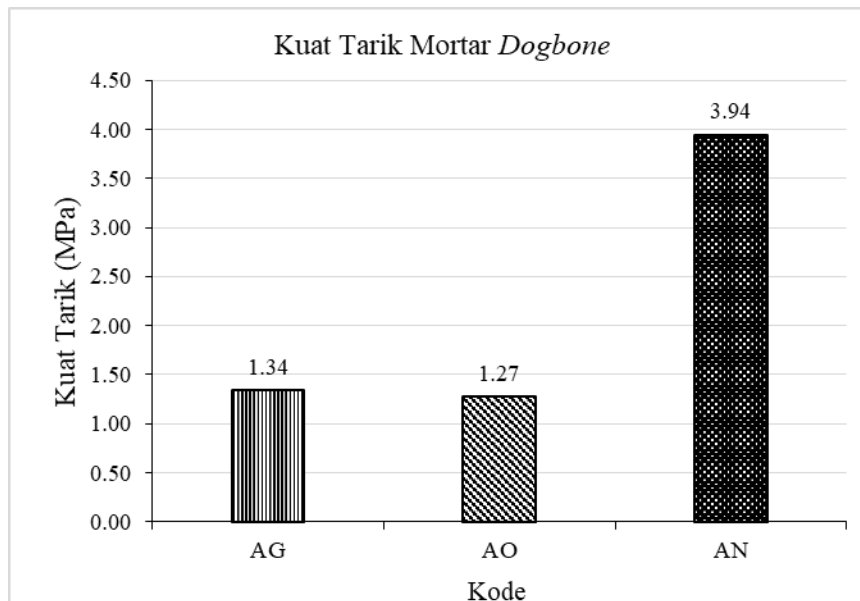


**Gambar 15.** Kuat Lentur Balok Beton

Dari gambar diatas didapatkan hasil bahwa balok AN memiliki kuat lentur terbesar yaitu 8,16 MPa , disusul dengan balok AG sebesar 2,18 MPa dan balok AO sebesar 1,87 MPa.

#### **Pengujian Kuat Tarik Mortar Dogbone**

Hasil kuat tekan *dogbone* tiap tiap campuran ditunjukkan pada Gambar 16.



**Gambar 16.** Kuat Lentur Balok Beton

Dari gambar diatas didapatkan hasil bahwa *dogbone* AN memiliki kuat tarik terbesar yaitu 3,94 MPa , disusul dengan *dogbone* AG sebesar 1,34 MPa dan *dogbone* AO sebesar 1,27 MPa.

## KESIMPULAN

Dari pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka kesimpulan yang diperoleh adalah:

1. campuran beton dengan menggunakan agregat buatan berbahan pasta OPC+FA memiliki hasil kuat tekan yang lebih baik jika dibandingkan dengan beton dengan campuran agregat buatan berbahan pasta geopolimer. Hal ini dikarenakan agregat buatan berbahan pasta geopolimer banyak mengandung natrium. Natrium bersifat reaktif terhadap campuran semen yang akhirnya dapat merusak matriks beton dan menurunkan kuat tekannya.
2. Kuat tekan beton dengan campuran agregat buatan berbahan pasta OPC+FA memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan campuran beton dengan menggunakan agregat alami yaitu sebesar 24,76 MPa dengan 26,59 MPa.
3. Pengujian kuat belah, kuat lentur dan kuat tarik pada beton berbahan pasta geopolimer dan pasta OPC+FA tidak menunjukkan selisih nilai yang signifikan. Namun jika dibandingkan dengan beton dengan campuran agregat natural, beton dengan campuran agregat buatan memiliki nilai kuat belah, kuat lentur, dan kuat tarik yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan campuran agregat buatan memiliki sifat yang lebih getas, hal itu tidak terlalu bermasalah karena pada dasarnya beton mempunyai sifat kuat dalam menahan gaya tekan dan lemah dalam menahan gaya tarik sehingga perlu digabungkan dengan pemasangan tulangan. Maka dapat disimpulkan bahwa *fly ash* dapat digunakan sebagai agregat buatan pengganti agregat natural pada campuran beton, karena memiliki hasil kuat tekan yang hampir sama.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, Alida et. al. (2015). "Comparison of Mechanical Properties of Fly Ash Artificial Geopolymer Aggregates with Natural Aggregate." *Applied Mechanics and Materials* 754–755(April): 290–95. <http://www.scientific.net/AMM.754-755.290>.

- Anandan, Sivakumar & Sounthararajan Vallarasu Manoharan (2015). “Strength Properties of Processed Fly Ash Concrete”. *J. Eng. Technol. Sci* 47(3): 320–34.
- Bakri, Al, Rafiza Abdul R. & Djwantoro H. (2012). “Characterization of LUSI Mud Volcano as Geopolymer Raw Material Characterization of LUSI Mud Volcano as Geopolymer Raw Material”. *Advance Materials Research* (July): 3–8.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer :Chemistry and Applications*. Geopolymer Institute. Perancis.
- Ekaputri, Januarti J. (2007). “Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif”. *Jurnal PONDASI* 13(2).
- Ekaputri, Januarti J., Triwulan T. & Fly Ash. (2013). “Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash , Trass Dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer”. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*. 20(1): 1–10.
- Hardjito, Djwantoro & Rangan BV. (2005). “Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolymer LOW-CALCIUM FLY ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE By Faculty of Engineering Curtin University of Technology”.
- Karyawan, I Dewamade Alit, & Januarti Jaya Ekaputri (2017). “Potential Use of Fly Ash Base-Geopolymer as Aggregate Substitution in Asphalt Concrete Mixtures”. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*. 9(5): 3744–52.
- Nurwidayati, Ratni & Muhammad Bahrul Ulum (2016). “Characterization of Fly Ash on Geopolymer Paste Characterization of Fly Ash on Geopolymer Paste”. *Material Science Forum* 841: 118–25.
- Patil, Sanjay N, Anil K Gupta & Subhash S Deshpande (2013). “Metakaolin- Pozzolanic Material For Cement in High Strength Concrete”. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*: 46–49.
- Priyadharshini, P, G Mohan Ganesh & A.S Santhi (2012). “A Review on Artificial Aggregates”. *International Journal of Earth Sciences and Engineering* 05(03).
- Ravisankar, K L, S K Gowtham, T R Raghavan & Fly Ash (2015). “Experimental Study on Artificial Fly Ash Aggregate Concrete”. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 4(11).
- Subekti, Srie (2012). “Analisis Proporsi Limbah Fly Ash Paiton Dan Tjiwi Kimia Terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer”. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*: 11–30.
- Suprayitno, H. & Soemitro R.A.A. (2018). “Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas - JMAIF* 2(1) Maret 2018. hal : 1–10.
- Triaswati, M. N., Didik H., Boedi W. & Wahyu I. (2019). “Penggunaan Abu Batu Untuk Mengurangi Agregat Pasir Alami Pada Campuran Beton Dengan Penambahan Zat Additive Type D Use of Rock Ash to Reduce Natural Sand Aggregates in Concrete”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas - JMAIF : Vol.3 Edisi Khusus 2, 3*: 35–44.
- Triwulan, Prasma W., & Januarti J. E.. (2016). “Addition of Superplasticizer on Geopolymer Concrete”. *ARPN Journal og Engineering and Applied Sciences* 11(24).
- Widayanti, A., Soemitro, R.A.A & Januarti J.E., (2018). “Kinerja Campuran Aspal Beton Dengan Reclaimed Asphalt Pavement Dari Jalan Nasional Di Provinsi Jawa Timur Performances of Asphalt Concrete Contain Reclaimed Asphalt Pavement from National Road in East Jave Province”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas* 2(1): 35–43.
- Zerfu, Kefiyalew & Januarti Jaya Ekaputri. (2016). “Review on Alkali-Activated Fly Ash Based Geopolymer Concrete”. *Materials Science Forum* 841(January): 162–69. <http://www.scientific.net/MSF.841.162>.

