



## **Pengaruh Kadar *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan *Admixture High Range Water Reducer***

**Agustinus Sungsang Nana Patria<sup>1\*</sup>, Fikri Haikal<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

<sup>2</sup>Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

Email\*: [agustinus-sungsang@untagsmg.ac.id](mailto:agustinus-sungsang@untagsmg.ac.id)

Diterima Oktober 2022; Disetujui November 2022; Dipublikasi Desember 2022

**Abstrak.** Beton mutu tinggi membutuhkan fas yang rendah dan semen lebih banyak. Namun diperlukan suatu alternatif untuk menggantikan semen karena keterbatasan semen dan harga semen yang semakin tinggi, salah satunya dengan penggunaan *fly ash*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *fly ash* terhadap kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan *admixture high range water reducer* dan mengetahui campuran ideal yang memberi nilai ekonomis. Komposisi variasi penggunaan *fly ash* sebanyak 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat semen. Digunakan bahan tambah *admixture* Tipe F *High Range Water Reducer* untuk mendapatkan fas rendah dan kemudahan dalam pelaksanaan. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) sebanyak 30 sampel yang terdiri dari 5 variasi, mutu beton rencana fc' 50 MPa dan diuji pada umur 7 hari dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan umur 7 hari mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash*. Sedangkan kuat tekan umur 28 hari mengalami peningkatan dengan adanya kadar *fly ash*. Kuat tekan beton umur 28 hari tertinggi pada kadar *fly ash* 30% dengan nilai 63,32 MPa. Harga beton mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash* yang digunakan. Beton dengan kadar *fly ash* 40% memiliki harga paling murah yaitu sebesar Rp 909.729,-. Campuran beton yang memiliki kuat tekan tertinggi (optimum) dan harga yang murah (ekonomis) terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 30%.

**Kata kunci:** *admixture*, beton mutu tinggi, *fly ash*, *high range water reducer*, kuat tekan beton

### **1 Latar Belakang**

Beton mutu tinggi memiliki proporsi khusus yaitu penggunaan semen lebih banyak, tetapi dengan keterbatasan semen dan harga semen yang semakin naik, diperlukan suatu alternatif baru dalam campuran beton mutu tinggi untuk mengurangi penggunaan semen tersebut, salah satunya dengan menggantikan sebagian semen menggunakan *fly ash*. *Fly ash* merupakan sisa dari pembakaran batu bara, berupa semburan asap yang mempunyai bentuk butiran partikel halus yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel. Ukuran butiran *fly ash* lebih kecil dari semen, sehingga apabila digunakan dalam campuran beton dapat membuat beton lebih padat karena rongga antar butiran agregat diisi oleh *fly ash*. Pengaruh

*fly ash* sebagai bahan tambah pada beton mengakibatkan terjadinya reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam *fly ash*. Salah satu langkah yang digunakan untuk mendapatkan beton mutu tinggi adalah penggunaan faktor air semen yang rendah. Penggunaan faktor air semen yang rendah akan membuat kesulitan dalam pekerjaan karena adukan yang tidak cukup homogen. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut digunakan bahan tambah *admixture high range water reducer*. *High range water reducer* adalah bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) digunakan untuk mengurangi penggunaan air dengan kondisi *slump* rencana yang sama sehingga kuat tekan beton yang didapat lebih tinggi. Peneliti mencoba untuk mengurangi penggunaan semen dengan mengganti sebagian semen menggunakan *fly ash* pada beton mutu tinggi, sedangkan untuk memudahkan dalam proses pekerjaan, peneliti menggunakan bahan tambah *admixture Tipe F High Range Water Reducer*. Pada penelitian ini diharapkan dengan mengganti sebagian semen menggunakan *fly ash* bisa mendapatkan desain campuran yang ideal dan ekonomis.

## 2 Tinjauan Pustaka

### 2.1 Beton

Beton merupakan material komposit yang terdiri dari campuran semen hidrolis, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air dengan atau tanpa bahan tambahan / *admixture* (SNI 2847:2013). Beton akan semakin mengeras seiring bertambahnya hari dan mencapai kekuatan rencana ( $f_c'$ ) pada umur 28 hari. Kualitas beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu oleh mutu bahan, perbandingan semen dengan air (faktor air semen), metode pengerjaan dan cara perawatannya. Penggunaan material beton memiliki berbagai keunggulan yaitu, memiliki nilai ekonomis dibandingkan material lain (murah), mudah untuk dibentuk sesuai dengan yang direncanakan, tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan sehingga biaya perawatan murah dan memiliki kemampuan untuk menahan beban tekan yang besar. Meskipun beton memiliki beberapa keunggulan, beton juga memiliki beberapa kekurangan yaitu, rendahnya dalam menahan tarikan, beton yang sudah dibuat sulit untuk dirubah dan proses pelaksanaannya membutuhkan ketelitian tinggi. Menurut Mulyono (2021), klasifikasi beton berdasarkan mutunya sesuai SNI 03-6468:2000 dibagi menjadi 3 mutu, yaitu beton mutu rendah ( $f_c' < 20$  Mpa), beton mutu sedang ( $20 \text{ MPa} \leq f_c' \leq 41,4 \text{ MPa}$ ) dan beton mutu tinggi ( $f_c' \geq 41,4 \text{ Mpa}$ ).

## 2.2 Slump Test

*Slump Test* merupakan sebuah metode atau uji empiris yang digunakan untuk menentukan konsistensi atau kelecakan dari adukan beton segar (*fresh concrete*). Uji *slump* dapat menunjukkan kekurangan, kelebihan atau kecukupan air yang digunakan untuk membuat beton. Semakin tinggi nilai slump maka tingkat kelacakan beton semakin tinggi, namun akan mempengaruhi kualitas beton menjadi rendah. Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan alat berbentuk kerucut dan berlubang pada kedua sisi ujungnya, yang disebut kerucut *Abrams*. Dimensi bagian bawah berdiameter 20 cm, pada bagian atas berdiameter 10 cm dan tinggi 30 cm.

## 2.3 Berat Volume

Hasil dari nilai ini menyatakan berat beton persatuan volume yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BV = \frac{Bs}{Vb} \quad (1)$$

dimana :

BV : Berat volume beton (kg/cm<sup>3</sup>)

Bs : Berat beton (kg)

Vb : Volume beton (cm<sup>3</sup>)

Dalam penelitian ini, digunakan benda uji berbentuk silinder maka volume beton dapat dinyatakan dalam  $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$ , dimana  $d$  adalah diameter silinder beton dan  $t$  adalah tinggi silinder beton.

## 2.4 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin tekan (SNI 03-1974:1990). Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini sebagai pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Nilai kuat tekan beton dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dimana :

$f_c'$  : Kuat tekan beton (Mpa)

P : Beban tekan (Newton)

A : Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### 3 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan 5 variasi jenis beton dengan menggunakan persentase *fly ash* sebesar 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat semen. Benda uji berbentuk silinder beton ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan kuat tekan rencana 50 MPa. Digunakan bahan tambah *admixture* Tipe F *High Range Water Reducer* untuk mendapatkan faktor air semen (fas) rendah dan kemudahan dalam pelaksanaan. Jumlah benda uji keseluruhan sebanyak 30 silinder beton. Masing-masing variasi berjumlah 6 benda uji, yang akan diuji kuat tekannya pada umur 7 dan 28 hari. Adapun variasi jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Variasi jumlah pembuatan benda uji

Kode Benda Uji	Persentase Fly Ash (%)	Umur 7 Hari (Bh)	Umur 28 Hari (Bh)
TM 1	0	3	3
TM 2	10	3	3
TM 3	20	3	3
TM 4	30	3	3
TM 5	40	3	3
Jumlah Benda Uji		15	15

Keterangan :

TM 1 : *Trial Mix 1 (Fly Ash 0%)*

TM 2 : *Trial Mix 2 (Fly Ash 10%)*

TM 3 : *Trial Mix 3 (Fly Ash 20%)*

TM 4 : *Trial Mix 4 (Fly Ash 30%)*

TM 5 : *Trial Mix 5 (Fly Ash 40%)*

Alur penelitian ini meliputi pengujian bahan, perhitungan campuran (*mix design*), pembuatan benda uji, pemeriksaan nilai *slump*, perawatan benda uji dan pengujian kuat tekan 7 hari dan 28 hari. Dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) pengujian material sangat diperlukan, hal ini bertujuan untuk mengetahui data atau sifat karakteristik material apakah material tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan sebagai bahan campuran pada beton. Pengujian yang dilakukan pada material agregat antara lain kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, kadar air dan gradasi. Setelah pengujian material selesai, selanjutnya adalah menghitung *mix design* (rencana adukan beton) dan pembuatan benda uji. Pemeriksaan nilai *slump* dilakukan untuk mengukur tingkat kelecakan/kekentalan adukan pada beton segar. Target nilai *slump* rencana *mix design* adalah 80-120 mm. Metode pengujian nilai *slump* dilakukan sesuai standar yang sudah ditetapkan yaitu SNI 1972:2008. Pembukaan benda uji dari cetakan dilakukan setelah umur

24 jam  $\pm$  8 jam setelah pencetakan. Kemudian perawatan benda uji dengan memasukkan ke dalam bak perendaman sampai dengan waktu yang direncanakan untuk dilakukan pengujian. Perawatan benda uji dimaksudkan untuk mencegah adanya penguapan air dari beton yang belum mengeras. Pengujian kuat tekan dimaksudkan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji setiap variasinya. Pengujian dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) berkapasitas 2000 kN.

## 4 Analisis dan Pembahasan

### 4.1 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan terhadap agregat halus pasir dan agregat kasar split. Rekapitulasi hasil pengujian agregat yang telah dilaksanakan, dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi hasil pengujian agregat

No.	Jenis Pengujian	Agregat Halus	Agregat Kasar
1	Kadar Lumpur	2,52%	0,84%
2	Berat Jenis dan Penyerapan		
	Berat Jenis Kering	2,42 gr/cm <sup>3</sup>	2,55 gr/cm <sup>3</sup>
	Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)	2,53 gr/cm <sup>3</sup>	2,62 gr/cm <sup>3</sup>
	Berat Jenis Semu	2,67 gr/cm <sup>3</sup>	2,76 gr/cm <sup>3</sup>
	Penyerapan	3,28%	3,02%
3	Kadar Air	6,16%	2,28%
4	Gradasi	2,77	7,81

Berdasarkan hasil pengujian agregat, dapat ditunjukkan bahwa agregat halus dan agregat kasar memenuhi persyaratan yang diijinkan untuk material campuran beton.

### 4.2 Campuran Beton (*Mix Design*)

Perhitungan campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834:2000. Adapun rekapitulasi perhitungan bahan campuran beton ditunjukkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Rekapitulasi kebutuhan bahan campuran beton per 1 m<sup>3</sup>

Kode <i>Mix Design</i>	Air (kg)	Semen (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)	AH (kg)	AK (kg)	<i>Adm</i> (liter)	FAS
TM 1 FA 0%	123	465,0	0	667,8	1187,2	3,47	0,265
TM 2 FA 10%	123	418,5	46,5	667,8	1187,2	3,47	0,265
TM 3 FA 20%	123	372,0	93,0	667,8	1187,2	3,47	0,265
TM 4 FA 30%	123	325,5	139,5	667,8	1187,2	3,47	0,265
TM 5 FA 40%	123	279,0	186,0	667,8	1187,2	3,47	0,265

### 4.3 Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilaksanakan sebelum penuangan beton segar ke dalam cetakan silinder.

Berikut ini adalah data hasil pengujian *slump*, dapat dilihat pada Tabel 4.

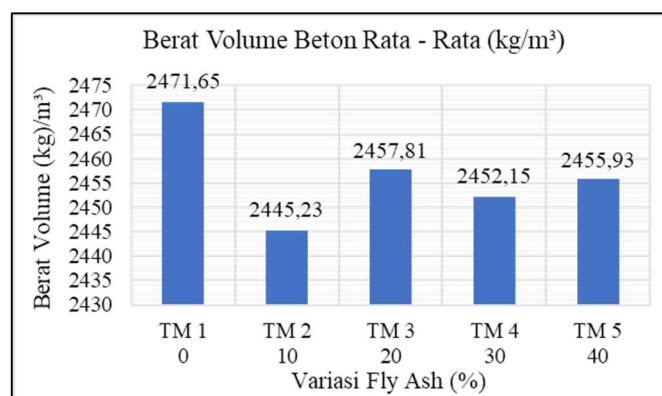
**Tabel 4.** Hasil pengujian *slump* pada beton segar

Kode Mix Design	Persentase Fly Ash (%)	Nilai Slump (mm)
TM 1	0	95
TM 2	10	105
TM 3	20	105
TM 4	30	90
TM 5	40	90

Berdasarkan pada di atas didapatkan nilai *slump* yang beragam antara 90 -105 mm, nilai tersebut masih memenuhi syarat yang sudah direncanakan antara 80 - 120 mm.

#### 4.4 Berat Volume Beton

Berat volume beton diukur dengan cara menimbang benda uji silinder ketika benda uji sudah diangkat dari bak perendaman pada kondisi kering. Hasil dari berat volume beton rata-rata benda uji dari beberapa variasi persentase *fly ash* dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



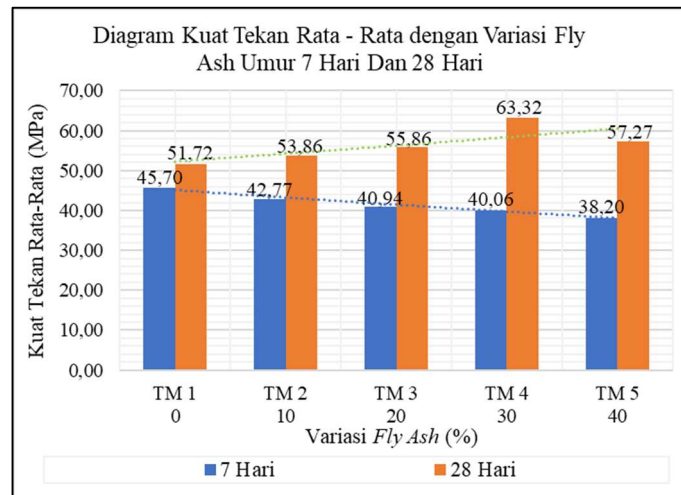
**Gambar 1** Diagram Berat Volume Beton Rata - Rata

Hasil pemeriksaan berat volume beton menunjukkan bahwa berat volume beton terbesar terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 0% yaitu sebesar 2471,65 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan volume beton terkecil terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 10% yaitu sebesar 2445,23 kg/m<sup>3</sup>. Berat volume beton yang dihasilkan sangat bervariasi dikarenakan beberapa faktor antara lain, berat *fly ash* yang lebih ringan daripada berat semen dan proses pemadatan beton segar pada saat pembuatan benda uji.

#### 4.5 Pengujian Kuat Tekan

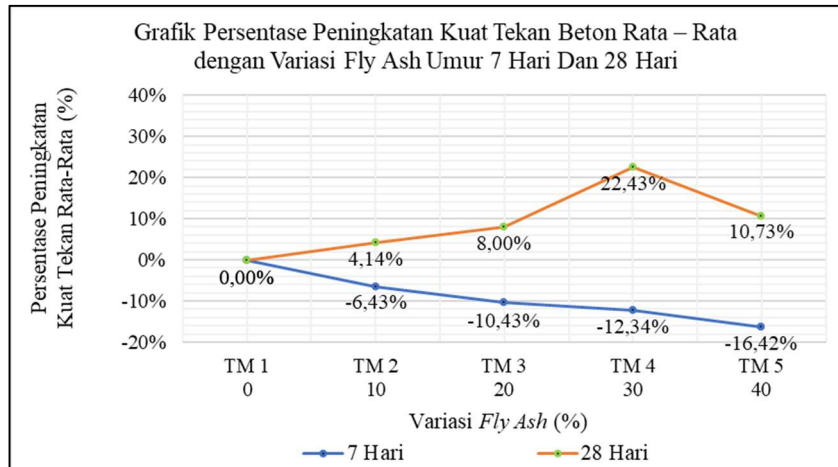
Pengujian kuat tekan dilaksanakan setelah benda uji silinder berumur 7 hari dan 28 hari.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi *fly ash* terhadap kuat tekan beton. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan beton, yang ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton umur 7 hari, dapat dilihat bahwa kuat tekan beton mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash* yang digunakan.



**Gambar 2** Diagram Kuat Tekan Rata - Rata dengan Variasi *Fly Ash* Umur 7 Hari dan 28 Hari

Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 0% atau beton normal tanpa penambahan *fly ash* yaitu dengan nilai kuat tekan 45,70 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan terendah terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 40% yaitu dengan nilai kuat tekan 38,20 MPa. Kuat tekan beton tertinggi umur 28 hari terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 30% yaitu dengan nilai kuat tekan 63,32 MPa. Nilai kuat tekan terendah terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 0% yaitu 51,72 MPa. Besarnya peningkatan pengaruh *fly ash* terhadap kuat tekan beton ditunjukkan ke dalam persentase. Adapun persentase peningkatan kuat tekan beton rata - rata dengan variasi *fly ash* umur 7 hari dan 28 hari ditunjukkan seperti pada Gambar 3.

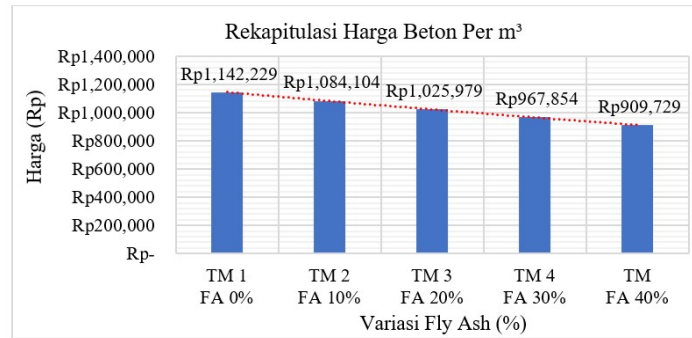


**Gambar 3** Grafik Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton Rata - Rata Umur 7 Hari dan 28 Hari Berdasarkan grafik persentase peningkatan kuat tekan beton di atas, dapat diketahui bahwa kuat tekan optimum terjadi pada kadar *fly ash* 30% yaitu sebesar 22,43% dari nilai kuat tekan beton normal. Hal ini dapat terjadi karena reaksi pozzolanic antara silika dan kalsium hidroksida pada beton terjadi setelah berumur 28 hari, dengan dibuktikan adanya peningkatan pada setiap variasi campuran beton yang menggunakan *fly ash*. Selain itu peningkatan kuat tekan dapat terjadi karena penambahan kadar *fly ash* dalam jumlah yang banyak dapat mempertahankan nilai faktor air semen. Hal ini dibuktikan pada campuran beton yang menggunakan *fly ash* lebih banyak maka realisasi kebutuhan air dalam campuran beton lebih sedikit dari rencananya. Dalam hal ini dapat diketahui juga bahwa karena butiran *fly ash* memiliki ukuran yang lebih kecil, sehingga mengisi rongga antar butiran untuk menutup pori-pori yang menjadikan beton lebih padat dan nilai kuat tekan lebih tinggi.

#### 4.6 Analisa Harga

Dalam pembuatan campuran beton (*mix design*), analisa harga diperlukan untuk mengetahui harga pembuatan beton setiap m<sup>3</sup> dengan kuat tekan tertentu. Rekapitulasi harga beton per m<sup>3</sup> setiap variasinya dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 4.





**Gambar 4** Rekapitulasi Harga Beton per m<sup>3</sup> Setiap Variasi

Berdasarkan gambar di atas ditunjukkan bahwa harga beton per m<sup>3</sup> mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash* yang digunakan. Campuran beton dengan kadar *fly ash* 40% memiliki harga yang paling murah dibanding dengan campuran beton yang lainnya yaitu Rp 909.729,- akan tetapi hasil kuat tekan beton 28 hari lebih rendah dari campuran beton dengan kadar *fly ash* 30%. Sedangkan untuk campuran beton dengan kadar *fly ash* 0% memiliki harga yang paling mahal yaitu Rp 1.142.229,- dan memiliki hasil kuat tekan 28 hari yang lebih kecil dibandingkan campuran beton yang menggunakan *fly ash*. Beton dengan pemakaian *fly ash* lebih murah disebabkan harga dari material *fly ash* lebih murah dibandingkan dengan harga semen. Dengan demikian hasil dari penelitian ini ditunjukkan bahwa campuran beton yang memiliki kuat tekan tertinggi (optimum) dan harga yang murah (ekonomis) terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 30%.

## 5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Penambahan *fly ash* pada campuran beton, berpengaruh pada nilai *slump* dan kekentalan yang dihasilkan, didapatkan nilai *slump* terendah pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 40% yaitu sebesar 90 cm.
- 2) Berat volume beton tertinggi pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 0% sebesar 2471,65 kg/m<sup>3</sup> dan berat volume beton terendah pada campuran beton dengan *fly ash* 10% sebesar 2445,23 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini disebabkan karena berat *fly ash* yang lebih ringan daripada berat semen.
- 3) Nilai kuat tekan tertinggi pada umur 7 hari terdapat pada kadar *fly ash* 0% sebesar 45,70 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah terdapat pada kadar *fly ash* 40% sebesar 38,20 MPa. Hal ini karena proses pengikatan dan reaksi unsur senyawa pada *fly ash* belum

terjadi secara maksimal. Nilai kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari terdapat pada kadar *fly ash* 30% sebesar 63,32 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah terdapat pada kadar *fly ash* 0% sebesar 51,72 MPa. Hal ini karena proses pengikatan reaksi kimia antara senyawa yang mengandung silika membentuk senyawa bersifat *cementitious* terus berlanjut. Campuran beton dengan kadar *fly ash* 30% mengalami peningkatan paling optimum sebesar 22,43% dari nilai kuat tekan beton normal.

- 4) Campuran beton dengan kadar *fly ash* 40% memiliki harga yang paling murah dibanding dengan campuran beton yang lainnya yaitu Rp 909.729,-. Campuran beton dengan kadar *fly ash* 0% memiliki harga yang paling mahal yaitu Rp 1.142.229,-. Hal ini dikarenakan harga dari material *fly ash* lebih murah dibandingkan dengan harga semen.
- 5) Campuran beton yang memiliki kuat tekan tertinggi (optimum) dan harga yang murah (ekonomis) terdapat pada campuran beton dengan kadar *fly ash* 30%.

#### Daftar Pustaka

- [1] Adibroto, F., Suhelmidawati, E. dan Zade, A.A.M. 2018. *Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen*. Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil (Politeknik Negeri Padang). Vol. XV. No. 1. Hal. 11-16.
- [2] Aji, P. dan Purwono, R. 2010. *Pengendalian Mutu Beton Sesuai SNI, ACI dan ASTM*. ITSPress. Surabaya.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 2847:2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 1972:2008. Cara Uji Slump*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-6468:2000. Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. 2004. *SNI 15-2049:2004. Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 1970:2008. Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. 1990. *SNI 03-1974:1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. 2011. *SNI 2493:2011. Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Badan Standardisasi Nasional.



Jakarta.

- [10] Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834:2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [11] Ekasanti, A.F., Kristiawan, S.A. dan Sunarmasto. 2014. *Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kebutuhan Air Dan Kuat Tekan High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete (HVFA – SCC)*. Jurnal Matriks Teknik Sipil (Universitas Negeri Sebelas Maret). Vol. 2. No. 2. Hal. 8-15.
- [12] Erfan, M., Surbakti, S. dan Roostrianawaty, N. 2019. *Optimasi Penggunaan Fly Ash Dengan Kadar Semen Minimum Pada Beton Mutu Tinggi*. Laporan Akhir Penelitian. Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Nasional. Malang.
- [13] Mardiah. 2010. *Studi Susut Beton Siap Pakai Yang Menggunakan Fly Ash*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- [14] Mohamad, R.M., Rachman, A. dan Mointi, Rahayu. 2020. *Kuat Tekan Beton Untuk Mutu Tinggi 45 Mpa Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen*. Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi (Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna Gorontalo). Vol. 8. No. 1. Hal. 25-33.
- [15] Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- [16] Mulyono, T. 2021. *Bahan Bangunan dan Konstruksi*. Stiletto Indie Book. Yogyakarta.
- [17] Nawy, E.G. 1985. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Penerjemah Suryoatmono B. 1998. PT. Refika Aditama. Bandung.
- [18] Ou, Chang-Yu. 2006. *Deep Excavation Theory and Practice*. Taylor & Francis Group. London.
- [19] Purwono, Rachmat dkk. 2007. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847:2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*. ITSPress. Surabaya.
- [20] Setiawati, M. dan Imaduddin, M. 2018. *Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton*. Jurnal Teknik Sipil (Universitas Muhammadiyah Palembang). Vol. 5. No. 4. Hal. 295-302.
- [21] Sopriyogi. 2008. *Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Fly Ash Dengan  $f_c'$  Rencana 50 MPa*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- [22] Tjokrodimuljo, K. 2021. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.