



## PENGGUNAAN FLY ASH INDUSTRI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) SEBAGAI PENGGANTI SEMEN PADA BETON

Intan Dwi Wahyu Setyo Rini<sup>1\*</sup>, Andika Ade Indra Saputra<sup>2</sup>, Listiono Toriq Kennedy<sup>2</sup>,  
Adrian Gunawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan  
Kampus ITK Jl Soekarno Hatta KM 15 Balikpapan

\*Email: intan@lecturer.itk.ac.id

### Abstrak

*Dalam operasionalnya PLTU Kaltim Teluk menggunakan batubara sebagai bahan baku. Sisa pembakaran batubara adalah fly ash dan bottom ash, yang merupakan abu dan dianggap sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Jumlah fly ash dan bottom ash yang sangat besar tentu akan lebih bermanfaat apabila dapat dikelola dengan baik. Salah satu bentuk pengelolaan tersebut adalah menjadikannya sebagai pengganti semen dalam beton. Hasil uji kuat tekan dari beton yang menggunakan fly ash sangat bervariasi dalam jangka waktu 56 hari. Hasil uji kuat tertinggi adalah pada beton dengan komposisi fly ash 5% yaitu 33,26 Mpa. Hasil kuat tekan beton pada keadaan normal yaitu 0% fly ash adalah 36,88 Mpa. Penurunan kuat tekan terjadi pada penambahan fly ash. Sedangkan beton dengan tambahan fly ash paling banyak yaitu 25% memiliki kuat tekan yang paling rendah yakni 19,08 Mpa.*

**Kata kunci:** beton, fly ash, semen

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik di Indonesia semakin besar seiring dengan berkembangnya penggunaan teknologi. Terhadap hal tersebut, industri pembangkit listrik semakin meningkat. Sampai dengan tahun 2017, kapasitas terpasang tenaga listrik di Indonesia adalah 60.789,98 MW, dengan rincian 41.720,96 MW dari PLN dan 19.069,02 MW dari non PLN (Statistik Ketenagalistrikan, 2018). Lebih dari 40% kapasitas tenaga listrik tersebut dihasilkan dari PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), dimana bahan baku utama yang digunakan adalah batu bara, di samping minyak dan gas alam dalam skala kecil.

Penggunaan batu bara pada industri PLTU melebihi dari 70% total bahan baku (Statistik Ketenagalistrikan, 2018). Pembakaran batubara dalam skala besar dapat menimbulkan dampak berupa limbah, baik itu limbah padat, cair, maupun gas. Pengendalian terhadap pencemaran merupakan salah satu kewajiban yang harus dilakukan oleh industri. Salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara adalah abu terbang (*fly ash*). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014, *fly ash* yang berasal dari industri pembangkit listrik dikategorikan sebagai limbah B3 yang bersifat spesifik.

Dengan kapasitas rencana 2 x 110 MW, PLTU Teluk Balikpapan akan menjadi salah satu pembangkit listrik dengan daya yang cukup besar. Penggunaan batubara pun mencapai 140 ton per jam atau sekitar 3.360 ton per hari (Rini dkk, 2018). Dengan jumlah bahan baku yang cukup besar, potensi *fly ash* pun menjadi cukup besar. Pada tahun 2017 tercatat, setiap harinya limbah *fly ash* yang dihasilkan dari PLTU Teluk Balikpapan adalah sebesar 150 ton per hari (Rini dkk, 2018).

Pengelolaan *fly ash* di PLTU Teluk Balikpapan saat ini adalah dengan penumpukan di *landfill* yang dibangun atas izin dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Dalam jangka waktu yang cukup lama, tumpukan *fly ash* akan terus bertambah dan dapat menyebabkan pencemaran udara (Anggraini dkk, 2013). Pengelolaan limbah *fly ash* yang

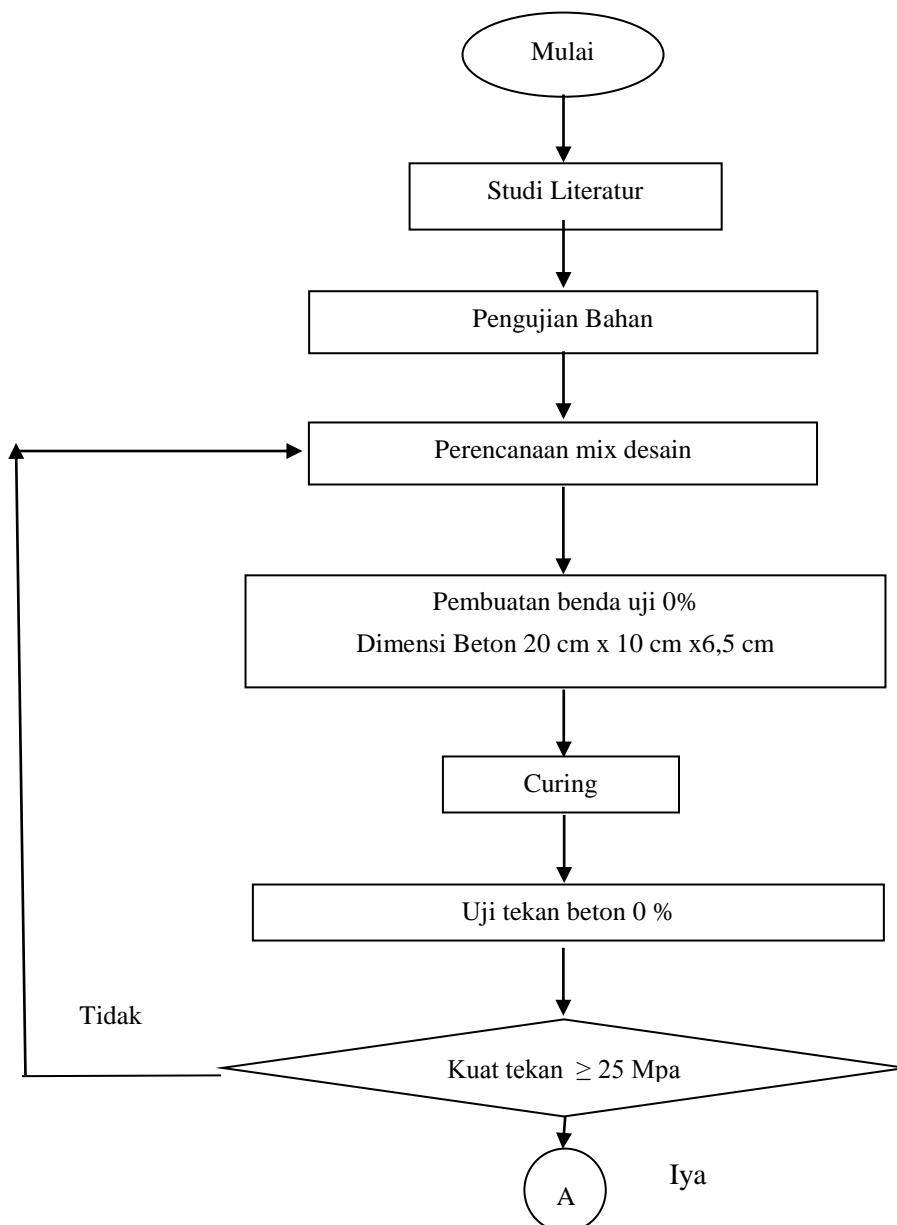
dapat dilakukan dengan sederhana adalah menjadikannya sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan beton.

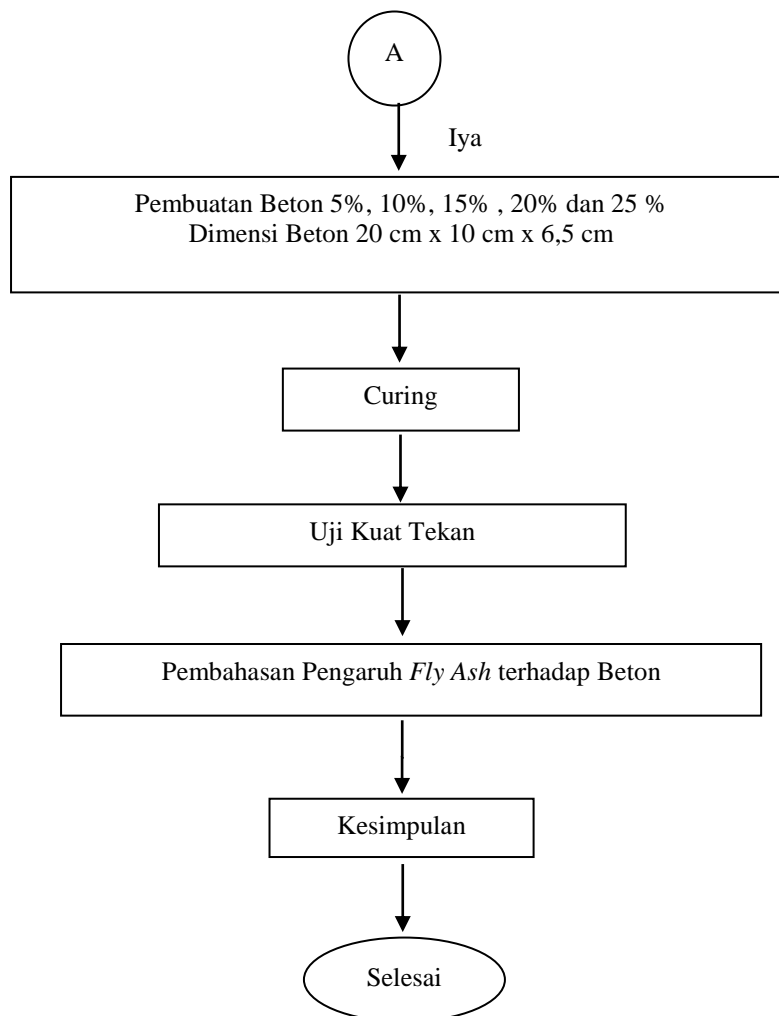
Kandungan pada *fly ash* sebagian besar terdiri atas silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium ( $\text{CaO}$ ), magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah yang sedikit (Setiawati, 2018). Kandungan silika merupakan senyawa pozzolan yang dapat meningkatkan kuat tekan pada beton pada kadar tertentu (Nadia, 2011). Menurut Yahya dkk (2017), pencampuran *fly ash* dalam beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Pada penambahan *fly ash* sebanyak 15%, terjadi peningkatan di umur 7 hari, 28 hari, dan 91 hari. Hasil uji kuat tekan pada masing-masing umur tersebut adalah 25,91 Mpa, 29,05 Mpa, dan 30,5 Mpa.

Dengan adanya penggunaan *fly ash* sebagai pencampur beton, jumlah semen yang digunakan juga akan semakin berkurang. Akibatnya biaya produksi untuk membuat beton juga dapat ditekan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan yang dihasilkan dari beton yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian secara umum ditunjukkan pada diagram alir di Gambar 1.





**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## 2.1. STUDI LITERATUR

Studi literatur berguna untuk memperdalam solusi permasalahan dengan mengkaji beberapa penelitian yang sejenis terdahulu. Selain itu, dipelajari juga beberapa kualitas mutu beton yang sesuai dengan SNI atau kualifikasi standar Indonesia.

## 2.2. PENGUJIAN BAHAN

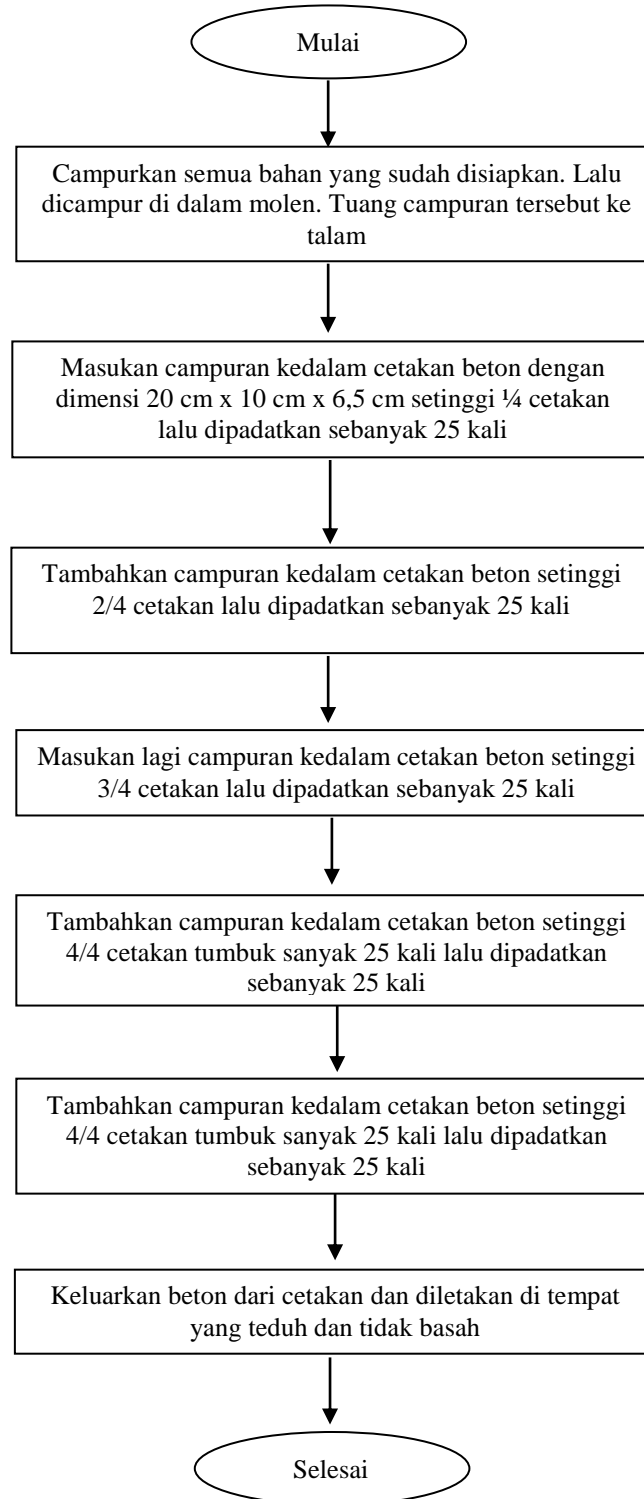
Pengujian berupa uji XRF (*X-ray Fluorescence*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Uji XRF bertujuan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur yang ada di dalam *fly ash*. Sedangkan uji SEM dilakukan untuk mengetahui komposisi atau struktur *fly ash* yang akan diuji.

## 2.3. PERENCANAAN MIX DESIGN

Perencanaan *mix design* dilakukan berdasarkan studi literatur. Dengan target uji kuat tekan di atas 25 Mpa, maka dibuatkan benda uji dengan perbandingan semen dan pasir adalah 1:3. Benda uji berupa silinder berdimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm.

#### 2.4. PEMBUATAN BENDA UJI

Pembuatan benda uji didasarkan pada rencana *mix design* sebanyak 6 komposisi, yaitu dengan *fly ash* 0% atau dikenal dengan beton normal, *fly ash* 5%, *fly ash* 10%, *fly ash* 15%, *fly ash* 20%, dan *fly ash* 25%. Metode pembuatan benda uji digambarkan pada diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembuatan Benda Uji

## 2.5. CURING

Curing dilakukan pada Laboratorium Teknik Sipil Institut Teknologi Kalimantan. Metode curing yang dipakai ini dengan cara menempatkan beton di tempat yang teduh dan tidak basah.

## 2.6. UJI KUAT TEKAN

Penentuan nilai kuat tekan pada beton ini sebesar kurang lebih atau sama dengan 25 MPa. Penentuan dari nilai uji ini didasarkan dari kuat tekan beton normal. Kuat tekan dengan nilai kurang lebih atau sama dengan 25 Mpa ini pada SNI 03 – 0691 – 1996 kelasnya berada diantara kelas A dan B yang diperuntukan untuk jalan dan parkir. Pengujian kuat tekan ini dilakukan di Politeknik Negeri Balikpapan. Peralatan yang diperlukan pada pengujian kuat tekan antara lain timbangan untuk menimbang berat dan mesin uji kuat tekan beton (*compression machine*).

## 3. PEMBAHASAN

### 3.1. HASIL UJI XRF

Pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) dilakukan untuk mengetahui kandungan kimia beserta senyawa yang terkandung dalam *fly ash*. Pengujian XRF ini dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang. Hasil yang didapatkan dari pengujian XRF *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil XRF *Fly Ash*

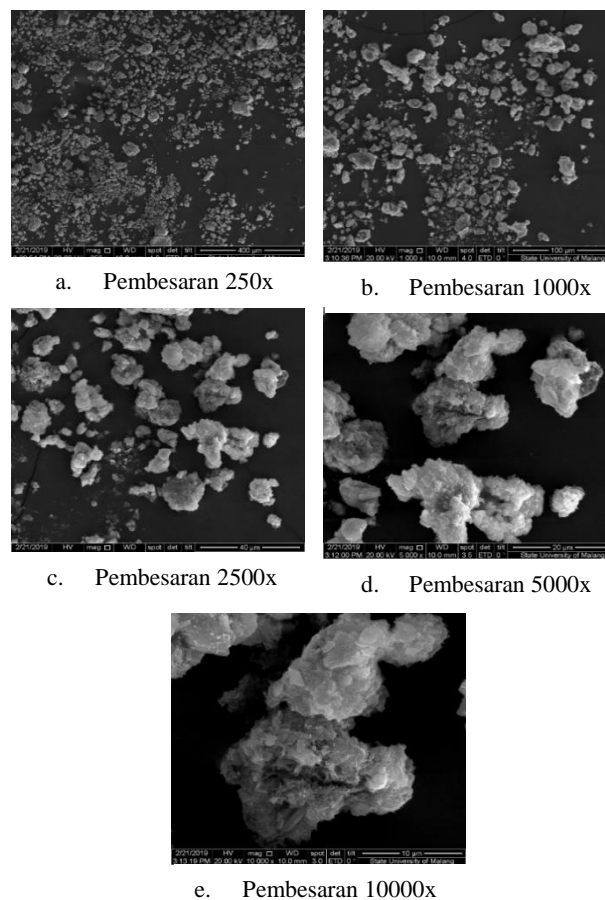
Unsur	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Al	5,60	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,80
Si	11,50	SiO <sub>2</sub>	18,00
P	0,28	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45
S	1,60	SO <sub>3</sub>	2,80
K	1,62	K <sub>2</sub> O	1,30
Ca	27,10	CaO	24,70
Ti	1,40	TiO <sub>2</sub>	1,40
V	0,04	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05
Cr	0,093	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,084
Mn	0,41	MnO	0,32
Fe	42,30	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,80
Ni	0,06	NiO	0,04
Cu	0,11	CuO	0,074
Zn	0,09	ZnO	0,07
Sr	1,70	SrO	1,10
Mo	4,60	MoO <sub>3</sub>	4,80
Ba	0,52	BaO	0,36
Eu	0,49	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34
Yb	0,06	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
Re	0,10	Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,09
Hg	0,37	HgO	0,23

Berdasarkan hasil pengujian XRF yang telah dilaksanakan, diketahui persentase-persentase senyawa yang terkandung di dalam *fly ash* diantaranya kandungan *pozzolan* sebesar 61,6% yang terdiri dari kandungan SiO<sub>2</sub> sebesar 18%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 7,8%, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 35,8% dan kandungan CaO sebesar 24,7%. Untuk kadar *pozzolan* (SiO<sub>2</sub> +

$Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ) > 50% namun < 70% dan memiliki nilai CaO >10% maka berdasarkan klasifikasi *fly ash* yang mengacu *ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3* jenis *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C. Hasil analisa klasifikasi tipe *fly ash* pada PLTU Teluk Balikpapan menyatakan bahwa *fly ash* termasuk ke dalam tipe C.

### 3.2. HASIL UJI SEM

Pengujian SEM ini dilakukan untuk mengetahui bentuk, ukuran dan struktur permukaan pada butiran *fly ash* yang digunakan. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang. Hasil pengujian SEM *fly ash* terdapat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil Pengamatan SEM *Fly Ash*

Hasil pengujian SEM *fly ash* menunjukkan adanya ukuran-ukuran partikel yang bervariasi dan berbentuk tidak beraturan (*irregular*) dan memiliki tekstur kasar. Berdasarkan penelitian Sinaga (2018) menyatakan bahwa bentuk partikel *fly ash* yang tidak beraturan akan menurunkan *workability* karena *fly ash* tidak dapat masuk ke dalam sela-sela beton sehingga dapat membentuk pori-pori.

### 3.3. HASIL UJI KUAT TEKAN

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari sampel beton. Selain itu hasil uji kuat tekan juga digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 3 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Variasi *fly ash* pada beton sebagai pengganti semen adalah sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 2.

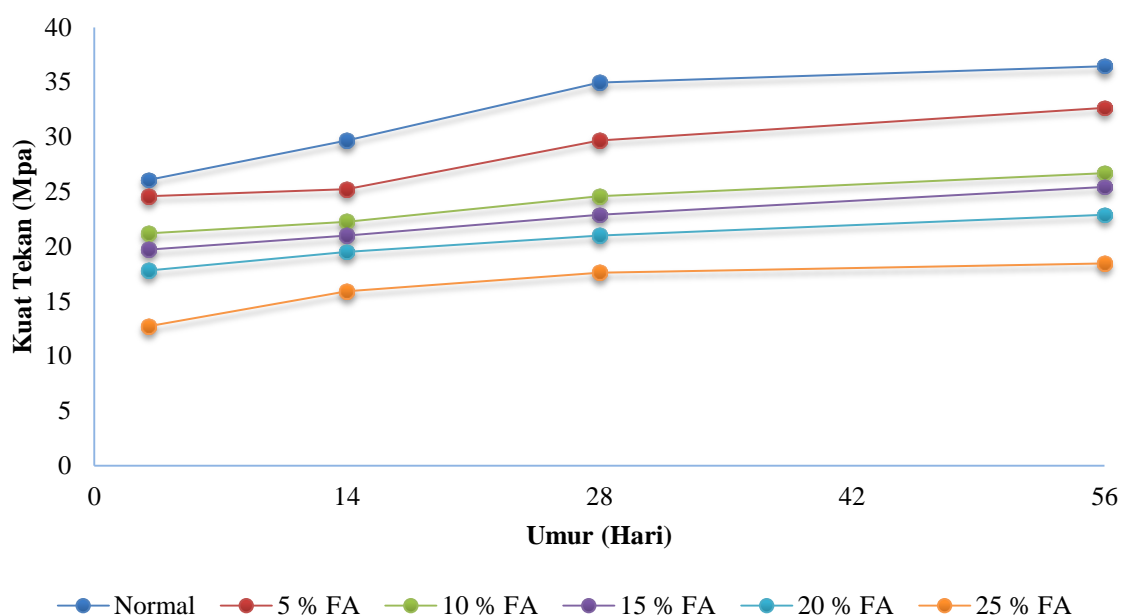
**Tabel 2.** Hasil Uji Kuat Tekan Pada Spesimen

Nomor	Variasi Kadar <i>Fly Ash</i>	Kuat Tekan (Mpa) Pada Umur			
		3 Hari	14 Hari	28 Hari	56 Hari
1.	Normal (0%)	27,35	29,89	35,61	37,52
		26,07	30,53	33,70	36,88
		24,80	31,16	35,61	36,25
	<b>Rata - Rata</b>	<b>26,07</b>	<b>30,53</b>	<b>34,98</b>	<b>36,88</b>
2.	5%	24,80	25,44	30,53	33,07
		24,80	26,71	31,16	32,43
		25,44	26,07	29,25	34,34
	<b>Rata - Rata</b>	<b>25,01</b>	<b>26,07</b>	<b>30,31</b>	<b>33,28</b>
3.	10%	21,62	23,53	25,44	28,62
		20,99	22,26	24,80	26,71
		22,26	21,62	24,17	27,35
	<b>Rata - Rata</b>	<b>21,62</b>	<b>22,47</b>	<b>24,80</b>	<b>27,56</b>
4.	15%	21,62	20,99	22,89	26,71
		19,71	22,26	24,17	27,35
		20,99	21,62	22,26	26,07
	<b>Rata - Rata</b>	<b>20,77</b>	<b>21,62</b>	<b>23,11</b>	<b>26,71</b>
5.	20%	17,81	19,71	22,26	23,53
		19,08	19,71	20,99	23,53
		19,08	19,08	20,99	24,80
	<b>Rata - Rata</b>	<b>18,65</b>	<b>19,50</b>	<b>21,41</b>	<b>23,95</b>
6.	25%	13,35	15,26	17,81	19,71
		13,99	15,90	18,44	18,44
		12,72	16,53	16,53	19,08
	<b>Rata - Rata</b>	<b>13,35</b>	<b>15,90</b>	<b>17,59</b>	<b>19,08</b>

Dari hasil uji kuat tekan pada Tabel 2, diinterpretasikan dalam bentuk grafik, yang menggambarkan perubahan uji kuat tekan yang mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur beton tersebut. Gambar 4 merupakan grafik yang dibuatkan berdasarkan hasil uji kuat tekan rata-rata beton.

Dari Gambar 4, diketahui bahwa beton yang memiliki kuat tekan paling tinggi adalah beton yang memiliki komposisi 0% *fly ash* sebagai pengganti semen, atau beton dalam keadaan normal. Akan tetapi beton dengan komposisi campuran 5% *fly ash* juga memiliki uji kuat tekan yang cukup tinggi yaitu 33,28 Mpa pada umur 56 hari. Menurut SNI 03 – 0691 – 1996, pada keadaan seperti ini beton sudah memenuhi kualitas minimum yaitu 25 Mpa. Pada beton dengan komposisi campuran

10% dan 15% *fly ash*, hasil uji kuat tekan juga menunjukkan bahwa beton spesimen tersebut dapat digunakan sebagai bahan parkir karena berada di antara kelas A dan B.



**Gambar 4.** Hasil Uji Kuat Tekan Rata-rata

Meskipun memenuhi baku mutu kuat tekan minimum, beton dengan komposisi campuran *fly ash* menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* dapat menurunkan nilai kuat tekan beton. Hal ini terlihat pada hasil uji kuat tekan pada umur 3 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Semakin banyak *fly ash* yang ditambahkan nilai uji kuat tekan beton semakin rendah. Menurut Rommel (2012), hal ini dapat terjadi karena *fly ash* mampu menyerap lebih banyak air dibandingkan dengan semen. Kemampuan *fly ash* ini menyerap air didasarkan pada partikel amorf yang dimiliki oleh *fly ash* lebih banyak daripada semen, dimana partikel semen didominasi oleh kristal. Amorf dapat menyerap air pada proses absorpsi berlangsung dikarenakan memiliki bentuk yang tidak teratur.

Pada umur beton 56 hari, nilai uji kuat tekan dengan komposisi *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% masing-masing adalah 33,28 Mpa, 27,56 Mpa, 26,71 Mpa, 23,95 Mpa, dan 19,08 Mpa. Hal ini menunjukkan adanya penurunan yang terjadi pada komposisi *fly ash* yang semakin besar. Penurunan nilai kuat tekan antara beton dengan campuran *fly ash* sebesar 5% dan 10% adalah 88,84%. Ini merupakan persentase penurunan yang paling besar. Menurut Rini dkk (2018) bahwa substitusi secara parsial pada semen oleh *fly ash* dalam campuran mortar maupun beton dapat mengurangi kebutuhan air yang sudah ditentukan hal ini disebabkan karena partikel halus pada *fly ash* diserap oleh permukaan partikel semen sehingga mencegah terjadinya proses pembentukan hubungan antara partikel untuk meningkatkan pengikatan. Akibatnya, partikel pada semen tersebar dan tidak dapat mengikat sejumlah besar air yang menyebabkan berkurangnya konsistensi yang didapatkan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini diketahui bahwa hasil uji kuat tekan pada beton yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen dapat memenuhi baku mutu beton sesuai SNI 03 – 0691 – 1996 yaitu minimum 25 Mpa. Adapun beton yang memiliki kuat tekan di atas 25 Mpa adalah pada komposisi





*fly ash* sebesar 5%, 10%, dan 15%. Nilai kuat tekan ketiga komposisi tersebut masing-masing adalah 33,28 Mpa, 27,56 Mpa, dan 26,71 Mpa pada umur 56 hari. Sedangkan beton dengan campuran *fly ash* 20% dan 25% memiliki kuat tekan yang kurang dari 25 Mpa pada umur 56 hari, yaitu 23,95 Mpa dan 19,08 Mpa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas bantuannya melalui hibah dana penelitian tahun 2019 melalui skema Penelitian Dosen Pemula.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, R., Ristinah, dan Nurlina, S., 2013, Pengaruh Variasi Penambahan Bottom Ash dalam Pasta Semen Terhadap Waktu Pengikatan Awal dan Akhir, *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol. 7 No. 1, hal 66 – 73.
- Badan Standarisasi Nasional, *Bata Beton (Paving Block)*, SNI 03 – 0691 – 1996, BSN, Jakarta.
- Nadia, A. F., 2011, Pengaruh Kadar Silika Pada Agregat Halus Campuran Beton Terhadap Peningkatan Kuat Tekan. *Jurnal Konstruksi*, Vol. 3 No. 1, Desember 2011, hal 35 – 43.
- Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2017, Edisi 31 Tahun Anggaran 2018, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.
- Rini, I. D. W. S., Saputra, A. A. I., Gunawan, A., Sholikah, U., and Fansuri, H., 2018, Utilization of Hazardous Waste Fly Ash Coal from Kariangau Thermal Power Plant as Substitution of Portland Cement on Concrete, *Proceeding of 2<sup>nd</sup> Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering (BICAME)*, November 10.
- Rommel, E., dan Yunan Rusdianto, 2012, Pemakaian Fly Ash Sebagai Cementious Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Steam Curing. *Media Teknik Sipil*, Vol. 10 No. 2, Agustus 2012, hal 128 – 136.
- Setiawati, Mira, 2018, Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 17 Oktober 2018.
- Sinaga, Hatian Bonar Tua, 2018, Studi Pengaruh Abu Terbang (*Fly Ash*) dari Pembakaran Batu Bara PLTU Kaltim Teluk Untuk Pembuatan Beton, *Skripsi*, Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan.
- Yahya, T. T., Kurniawandy, A., dan Djauhari, Z., 2017, Pengaruh Kombinasi Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton Terhadap Sifat Mekanik, *JOMF Teknik*, Vol. 4 No. 1, Februari 2017, hal 1 – 8.