

## PENGGUNAAN *FLY ASH* DARI PLTU NGORO SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN DALAM PEMBUATAN MORTAR

Vellyana Wardoyo<sup>1</sup>, Daniel Christanto<sup>2</sup>, Antoni<sup>3</sup>, dan Djwantoro Hardjito<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Proses pembuatan semen yang berbahaya bagi lingkungan menimbulkan berbagai penelitian yang bertujuan untuk menemukan material pengganti semen. Salah satu material yang dapat menggantikan semen adalah *fly ash* karena sifatnya yang mengikat. Pada umumnya, *fly ash* menambah kelecakan pada campuran karena bentuknya yang bulat. Namun dari informasi yang dikumpulkan saat kunjungan ke PLTU Ngoro, *fly ash* Ngoro justru tidak menambah *workability* malah membutuhkan air yang banyak. Uji Konsistensi Normal dilakukan untuk mengetahui kebutuhan air dasar dari *fly ash* PLTU Ngoro dan memang air yang dibutuhkan semakin meningkat seiring bertambahnya *fly ash*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* PLTU Ngoro terhadap kuat tekan dan *workability* mortar Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa sifat *fly ash* Ngoro menyerap air dan berlawanan dengan sifat *fly ash* pada umumnya. Hal ini terjadi karena bentuk partikelnya yang tidak bulat yang membuat air malah terserap ke dalam pori-pori. Bentuk partikelnya terjadi karena tipe *boiler* yang digunakan yaitu *Fluidized Bed Combustion*. *Fly ash Fluidized Bed Combustion* tetap bisa dimanfaatkan namun dengan bantuan *superplasticizer* dan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan mortar kontrol yang terbuat dari 100% semen.

**KATA KUNCI:** ngoro, *fly ash* tipe f, *fly ash fluidized bed combustion*, *workability*

### 1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material penting bagi perkembangan konstruksi di dunia. Produksi semen yang merupakan materi pengikat utama dari beton berkontribusi banyak dalam penghasilan gas rumah kaca, karena produksi dari 1 ton semen akan melepaskan 1 ton gas karbon dioksida ke udara (Wallah, 2011). Proses produksi semen yang mencemari lingkungan mendorong dilakukannya berbagai penelitian untuk mengurangi penggunaan semen. Salah satu material yang digunakan sebagai pengganti semen adalah *fly ash* atau abu terbang. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Maryoto (2008) *fly ash* adalah sisa pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berbentuk partikel halus *amorf* dan bersifat *pozzolan*. PLTU Ngoro merupakan salah satu PLTU yang ada di Kabupaten Mojokerto dimana PLTU ini merupakan PLTU swasta milik SPS Group untuk menghasilkan listrik untuk seluruh kegiatan industri yang dilakukan oleh SPS Group. Sesuai dengan informasi yang dapat dikumpulkan, *fly ash* dari PLTU Ngoro ini tidak begitu dimanfaatkan oleh pihak industri beton. Keluhan yang umum disampaikan adalah *fly ash* ini sangat membutuhkan air. Karenanya, penelitian awal dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari *fly ash* PLTU Ngoro. Penelitian yang dilakukan adalah tes konsistensi normal untuk mengetahui kebutuhan air dari *fly ash* PLTU Ngoro. Secara umum, partikel *fly ash* halus dan berbentuk bulat, maka pemakaian abu terbang dapat menambah kelecakan pada campuran (Sebayang, 2010). Dari hasil tes konsistensi normal yang dilakukan, semakin meningkat

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, [vellyanawardoyo12@gmail.com](mailto:vellyanawardoyo12@gmail.com)

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, [jazzydaniel@yahoo.com](mailto:jazzydaniel@yahoo.com)

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, [antoni@petra.ac.id](mailto:antoni@petra.ac.id)

<sup>4</sup> Rektor Universitas Kristen Petra, [djwantoro.h@peter.petra.ac.id](mailto:djwantoro.h@peter.petra.ac.id)

persen *fly ash* semakin tinggi pula w/cm yang digunakan untuk mencapai konsistensi normal yang berarti kebutuhan air meningkat sehingga sifatnya berlawanan dengan *fly ash* pada umumnya yang seharusnya menambah kelecakan pada campuran. Hal ini menguatkan Sinyalemen bahwa *fly ash* PLTU Ngoro memerlukan banyak air. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* PLTU Ngoro sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan dan *workability* pada mortar.

## 2. STUDI LITERATUR

### 2.1. Fly Ash

*Fly ash* adalah bagian dari sisa pembakaran batubara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berbentuk partikel halus *amorf* dan bersifat *pozzolan*. Karenanya, abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Maryoto, 2008). *Fly ash* dibedakan menjadi 2 kelas yaitu kelas F dan kelas C. Komponen utama dari *fly ash* berupa silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Madhavi, Swamy Raju, & Mathur, 2014). *Fly ash* kelas C mempunyai kandungan  $\text{CaO}$  yang lebih tinggi dari 10%, sedangkan untuk tipe F dibawah 10%. Untuk jumlah  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  pada tipe C minimal 50%, sedangkan tipe F minimal 70%. Keduanya mempunyai sifat yang berbeda. *Fly ash* kelas F mempunyai sifat pozolanik sedangkan *fly ash* kelas C memiliki sifat pozolanik dan sementisius (SNI 2460, 2014).

### 2.2. Tipe Pembakaran PLTU

Terdapat 2 tipe pembakaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yaitu *Fluidized Bed Combustion* (FBC) dan *Pulverized Coal-Fire Boiler* (PCB). PCB adalah teknologi standar untuk pembangkit listrik berbahan bakar batu bara. Pembakaran menggunakan api dengan suhu ( $1300-1700^\circ\text{C}$ ) dan membutuhkan nilai kalor batu bara yang tinggi ( $5000-6500$  *British Thermal Unit*). Pada FBC batu bara terus-menerus disirkulasi untuk dibakar hingga habis menjadi abu (Lockwood, 2013). Menurut (Robl, Mahboub, Stevens, & Rathbone (2010) pembakaran FBC lebih efisien dibanding PCB dikarenakan FBC dapat beroperasi dengan nilai kalor bahan bakar dan suhu tungku bakaran yang rendah ( $760-1000^\circ\text{C}$ ) dibandingkan dengan PCB. Dari hasil foto SEM (*Scanning Electrone Microscope*) *fly ash* FBC memiliki bentuk yang tidak teratur, tidak bulat, dan dengan luas permukaan yang luas, sedangkan untuk *fly ash* PCB memiliki bentuk yang bulat. Bentuk partikel *fly ash* FBC tersebut menyebabkan penyerapan air yang lebih banyak namun memiliki reaktivitas yang tinggi.

FBC dibagi menjadi 2, yaitu *Atmospheric Systems* (FBC) dan *Pressurized Systems* (PFBC). *Atmospheric System* menggunakan batu kapur untuk menangkap sulfur yang dilepaskan oleh pembakaran batu bara. Udara dimasukkan selama pembakaran mengubah campuran menjadi campuran merah panas yang mengalir seperti cairan. *Boiler* tipe ini beroperasi menggunakan tekanan atmosfer. *Pressurized Systems* sama dengan *Atmospheric System* menggunakan campuran batu kapur dan sulfur serta udara selama pembakaran. Namun *boiler* tipe ini beroperasi menggunakan tekanan udara yang tinggi yang dapat menggerakkan turbin.

Informasi yang diperoleh dari hasil kunjungan ke PLTU Ngoro tanggal 8 Juni 2017, PLTU Ngoro menggunakan tipe *Fluidized Bed Combustion* (FBC). Tipe pembakaran ini yang diduga menghasilkan *fly ash* yang memiliki sifat berbeda dengan biasanya. Batu Bara yang digunakan berasal dari Kalimantan dengan kalor sekitar  $3800-4200$  BTU (*British Thermal Unit*). Ukuran batu bara untuk proses pembakaran *Fluidized Bed Combustion* maksimum 1.2 cm. Proses pembakaran pada PLTU dengan tipe FBC menggunakan *cyclone* pada bagian atas *boiler*. Kegunaan *cyclone* adalah menangkap kembali *ash* yang terlalu besar untuk kembali dibakar ulang pada *boiler*. Hal ini menyebabkan LOI (*Loss on Ignition*) dari *fly ash* yang dihasilkan rendah, yaitu di bawah 2%. Batu bara dibakar habis dengan adanya *cushion* udara (seperti meja *air hokky*) dimana batu bara tidak menempel pada lempeng bawah sehingga melayang dan terbakar habis. Suhu pada *boiler* dijaga pada suhu  $950^\circ$ . Jika suhu lebih dari  $950^\circ$ , *ash* akan meleleh dan membuntu saluran udara.

### 2.3. Superplasticizer

*Superplasticizer* memiliki beberapa kegunaan pada campuran mortar. Beberapa kegunaan *superplasticizer* antara lain meningkatkan *workability*, mengurangi kebutuhan air, memudahkan pembuatan beton yang sangat cair, dan memungkinkan penempatan tulangan yang rapat atau pada bagian yang sulit dijangkau oleh pemadatan. Penggunaannya *superplasticizer* harus pada dosis yang tepat, apabila apabila berlebihan malah dapat menurunkan kekuatan tekan dari campuran tersebut (Yamada, Takahashi, Hanahara, & Matsuhisa, 2000). Penggunaan *superplasticizer maximum* pada dosis 2% (Paramitha, Meok, & Hardjito, 2017).

### 2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Yilmaz & Olgun (2008) bertujuan untuk menerapkan *fly ash* dengan kandungan kalsium yang rendah atau yang sering disebut sebagai tipe F. Percobaan dilakukan dengan membandingkan antara sampel semen 100% dan penggantian *fly ash* dari 5%, 10%, 20%, dan 40%. Hasilnya sampel dengan semen 100% memiliki kuat tekan tertinggi sedangkan sampel dengan penggantian *fly ash* memiliki kuat tekan yang makin menurun seiring meningkatnya penggantian *fly ash*. Penelitian lainnya dilakukan oleh Paramitha et al., (2017) yang membahas pengaruh kombinasi semen-*fly ash* dan variasi *water content* dengan penambahan *superplasticizer* terhadap kepadatan pasta. *Fly ash* ditambahkan dengan tujuan meningkatkan *workability* dan mengurangi kebutuhan air dari campuran. Selain itu *workability* bisa didapat dengan tingginya w/c yang digunakan, namun mengakibatkan turunnya kuat tekan dan kepadatan pasta. Apabila menggunakan w/c yang rendah, campuran akan sulit untuk dikerjakan. Hasilnya pada pasta 100% semen memerlukan jumlah *superplasticizer* lebih banyak daripada variasi lainnya. Semakin banyak *fly ash* maka semakin sedikit *superplasticizer* yang dibutuhkan.

## 3. RANCANGAN PENELITIAN

### 3.1. Kerangka Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* PLTU Ngoro sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan mortar dengan cara menggantikan sebagian semen dengan *fly ash* tersebut. *Fly ash* PLTU Ngoro, dibandingkan dengan *fly ash* PLTU Suralaya. Material *fly ash* PLTU Ngoro telah diuji XRF. Penelitian dilakukan dengan menguji kuat tekan pada umur mortar 7, 28, dan 56 hari serta uji *flow table*. Selain itu *fly ash* Ngoro juga diuji *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui reaktivitas *fly ash* serta *Scanning Electronic Microscopy* pada beberapa sampel mortar.

### 3.2. Material yang Digunakan

*Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe F dari PLTU Ngoro, Mojokerto dan *fly ash* tipe F dari PLTU Suralaya, Banten. Semen yang digunakan adalah semen PPC (*Portland Pozzolan Cement*) dari Semen Gresik. Air yang digunakan adalah air suling. Pasir yang digunakan merupakan pasir Lumajang. Pasir tersebut dicuci terlebih dahulu dan direndam dalam air selama 24 jam, kemudian dikeringkan menggunakan oven untuk memperoleh pasir dengan kondisi yang SSD. Pasir ini kemudian diatur gradasinya sesuai dengan ketentuan SK.SNI T-15-1990-3 pada zona 2. *Superplasticizer* yang digunakan adalah *viscocrete1003* tipe *polycarboxylate* dari SIKA.

### 3.3. Peralatan yang Digunakan

Ayakan no #4 (4.75mm), no #8 (2.36mm), no #16 (1.18mm), no #30 (600 $\mu$ m), no #50 (300 $\mu$ m), no #100 (150 $\mu$ m) digunakan untuk mengayak pasir agar didapat pasir dengan gradasi berdasarkan SK.SNI T-15-1990-3 zona 2. alat lain yang digunakan adalah *mixer*, bekisting ukuran 5 x 5 x 5 cm, *vibrator*, *universal*

*testing machine*, dan *flow table. universal testing machine* digunakan untuk uji tekan mortar. *flow table test* digunakan untuk mengukur kelecakan campuran.

### 3.4. Mix Design

Setiap *mix design* pada Tabel 1 dibuat untuk 3 benda uji pada umur ke 7, 3 benda uji pada umur ke 28, dan 3 benda uji pada umur ke 56. Benda uji tersebut dibuat pada bekisting dengan ukuran 5 cm x 5cm x 5cm. Notasi S = semen dan angka 100 merupakan persentase semen yang digunakan. Kemudian n = Ngoro, s = Suralaya, dan angka 10 hingga 40 merupakan presentase *fly ash* yang digunakan.

**Tabel 1. Mix Design**

KOMBINASI	SEMEN (gr)	FLY ASH (gr)	PASIR (gr)	AIR (gr) w/cm 0.45	AIR (gr) w/cm 0.40	AIR (gr) w/cm 0.35
S100	900	-	1800	405	360	315
FAn10	810	90				
FAn20	720	180				
FAn30	630	270				
FAn40	540	360				
FAs10	810	90	1800			315
FAs20	720	180				
FAs30	630	270				
FAs40	540	360				

### 3.5. Langkah Pembuatan Mortar

Material serta peralatan yang sesuai *mix design* disiapkan. *Mixing* dilakukan dengan mencampur semen dan *fly ash* pada saat kering secara merata. Kemudian air dituangkan ke dalam campuran lalu diaduk. Setelah air tercampur *superplasticizer* yang sudah disiapkan pada botol parfum disemprot secara perlahan sambil campuran tetap diaduk. Penambahan *superplasticizer* dihentikan ketika campuran sudah cukup lecah (*workable*). Setelah campuran selesai dilakukan *flow table test*, campuran diambil dan dimasukkan ke dalam bekisting dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm. Selanjutnya sampel di uji kuat tekan pada umur 7, 28 dan 56 hari.

### 3.6. Pengujian Konsistensi Normal

Untuk mengevaluasi sifat dasar kebutuhan air *fly ash* dari PLTU Ngoro dan PLTU Suralaya dilakukan pembuatan pasta dan dilakukan pengujian konsistensi normal. Menurut ASTM C 187-86, pengujian konsistensi normal dilakukan dengan cara menyiapkan peralatan, seperti alat vikat dan campuran pasta, lalu memasukkan campuran pasta ke dalam cincin konik sehingga permukaan pasta benar-benar rata dengan tinggi cincin konik. Selanjutnya cincin konik diletakkan di bawah jarum besar vikat (1 cm). Jarum harus bersentuhan tepat di permukaan campuran pasta. Dan yang terakhir pengunci pada alat vikat dilepaskan, kemudian jarum tersebut jatuh dan menyentuh ke dalam pasta dan hitung penurunan selama 30 detik. Kebutuhan air ideal merupakan w/cm yang digunakan saat angka pada alat vikat menunjukkan penetrasi  $10 \pm 1$  mm setelah 30 detik.

### 3.7. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan mengukur besar kuat tekan dari benda uji yang telah dibuat. Pengujian dilakukan pada hari ke 7, 28, dan 56 hari. Sebelum hari pengujian yang telah ditetapkan, benda uji dikeluarkan terlebih dahulu dari tempat *curing* sehari sebelumnya agar benda uji dalam keadaan kering. Alat yang dipakai untuk pengujian kuat tekan adalah *Universal Testing Machine*.

## 4. HASIL DAN ANALISA DATA

### 4.1. Analisa Material

Uji XRF dilakukan sesuai dengan ASTM D4326-1 untuk mengetahui kandungan senyawa yang ada pada *fly ash*. (Tabel 2).

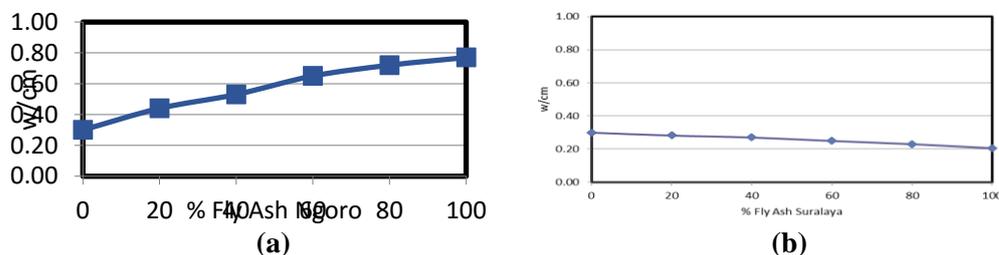
Tabel 2. Kandungan Senyawa *Fly Ash*

<i>Fly Ash Ngoro</i>	Test Result	<i>Fly Ash Suralaya</i>	Test Result
Parameter	(% wt)	Parameter	(% wt)
SiO <sub>2</sub>	48.94	SiO <sub>2</sub>	45.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.99	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.32
TiO <sub>2</sub>	1.93	TiO <sub>2</sub>	0.91
CaO	2.2	CaO	7.77
MgO	1.34	MgO	4.09
K <sub>2</sub> O	0.95	K <sub>2</sub> O	1.12
Na <sub>2</sub> O	0.4	Na <sub>2</sub> O	1.81
SO <sub>3</sub>	0.15	SO <sub>3</sub>	0.67
MnO <sub>2</sub>	0.07	MnO <sub>2</sub>	0.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27
LOI	2.5	LOI	2.78
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90.04	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80.1

Dari tabel tersebut terlihat bahwa kedua *fly ash* memiliki nilai CaO di bawah 10 persen dan jumlah SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berada di atas 70 persen yang berarti menurut standar SNI 2460:2014 *fly ash* Ngoro dan Suralaya merupakan *fly ash* tipe F.

### 4.2. Percobaan Awal

Pengujian Konsistensi Normal dilakukan untuk mengevaluasi kebutuhan air dasar dari *fly ash*. Uji konsistensi normal dilakukan mengganti semen setiap kenaikan 20% dari 0% hingga 100% dan mengevaluasi banyaknya air yang dibutuhkan.



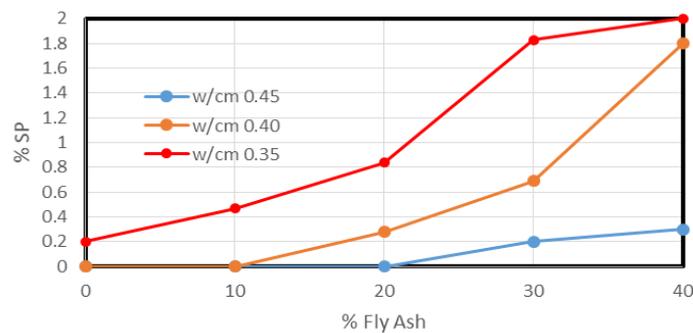
Gambar 1. Kebutuhan Air (a) *Fly Ash Ngoro* (b) *Fly Ash Suralaya*

Dari hasil tes konsistensi normal pada Gambar 1, kedua *fly ash* ini memiliki kebutuhan air yang berbeda. Pada umumnya sifat dasar dari *fly ash* adalah menambah kelecakan pada adukan beton (Sebayang, 2010). Namun hasil yang didapat dari *fly ash* Ngoro justru berbanding terbalik, semakin meningkatnya penggunaan *fly ash* pada pasta malah menyebabkan terjadinya peningkatan w/cm dari 0.3 pada campuran tanpa *fly ash* menjadi 0.77 saat semen digantikan 100% oleh *fly ash*. Hal menunjukkan

kebutuhan air yang makin banyak karena kelecakan dari adukan berkurang dengan penambahan *fly ash*. Sedangkan untuk *fly ash* Suralaya menambah kelecakan dari adukan terbukti dari semakin turunnya *w/cm* dari 0.3 menjadi 0.2.

#### 4.3. Analisa Pemakaian *Superplasticizer*

*Superplasticizer* diberikan secara perlahan dan dihentikan apabila campuran sudah *workable* yaitu memiliki nilai diameter *flow* di atas 12cm namun dengan batas penggunaan maksimum sebanyak 2%

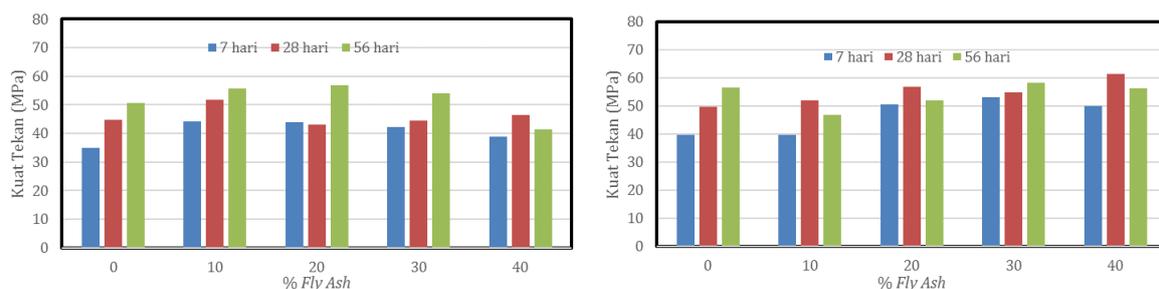


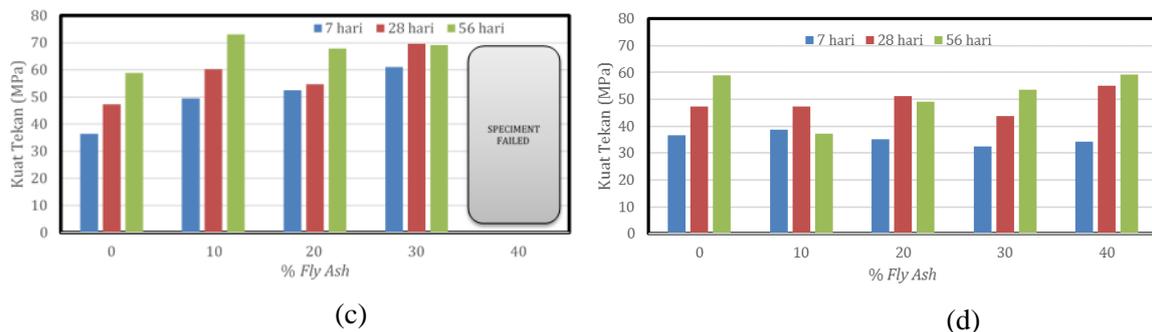
Gambar 2. Kebutuhan *Superplasticizer* Mortar *Fly Ash* Ngoro

Pemakaian *superplasticizer* dari *fly ash* Ngoro sebanding dengan hasil konsistensi normal yaitu semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya persentase *fly ash* yang digunakan, untuk mendapatkan campuran yang *workable*. Dari analisa yang dilakukan, pada *mix design* menggunakan *fly ash* Ngoro, makin bertambahnya penggantian semen oleh *fly ash* memerlukan *superplasticizer* yang makin banyak. Hasil yang tidak memenuhi syarat diameter *flow table test* terjadi pada campuran dengan penggantian semen sebanyak 40% yang menggunakan *superplasticizer* hingga maksimal yaitu sebanyak 2% namun hanya menghasilkan diameter sebesar 10 cm dan campuran masih bersifat tidak *homogen* sehingga sangat sulit untuk dikerjakan. Saat kering bentuk mortar tersebut tidak menyatu dan berlubang sehingga tidak memiliki kuat tekan. Sedangkan untuk mortar yang menggunakan *fly ash* Suralaya, tanpa menggunakan *superplasticizer* sudah memiliki nilai diameter *flow* di atas 15cm yang berarti sudah *workable*. *Superplasticizer* pada mortar kontrol atau mortar dengan semen 100 % hanya digunakan pada *w/cm* 0.35 yaitu sebanyak 0.2%. Setelah penambahan *fly ash* campuran mortar sudah *homogen* dan tidak perlu penambahan *superplasticizer*.

#### 4.4. Analisa Umur Mortar dan *w/cm* terhadap Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan saat mortar berumur 7, 28, dan 56 hari. Sampel mortar dikeluarkan dari bak *curing* sehari sebelum tes dilakukan. Jumlah sampel yang di test untuk perharinya yaitu sebanyak 3 spesimen yang kemudian diambil rata-rata kuat tekannya. Berikut merupakan hasil dari kuat tekan yang dihasilkan.





Gambar 3. Grafik Hasil Tes Kuat Tekan Mortar *Fly Ash* (a) Ngoro w/cm 0.45 (b) Ngoro w/cm 0.4 (c) Ngoro w/cm 0.35 (d) Suralaya w/cm 0.35

Dari Gambar 3 terlihat bahwa makin bertambahnya umur dari mortar menimbulkan naiknya kuat tekan dari mortar tersebut. Rata-rata dari hasil yang didapat, kuat tekan mortar *fly ash* Ngoro terus mengalami peningkatan hingga 56 hari. Apabila dibandingkan dengan kuat tekan yang didapat pada saat 7 hari, mortar Fan10 dengan w/cm 0.35 mengalami peningkatan hingga 40%. Hal ini berarti *fly ash* Ngoro memenuhi sifat *fly ash* tipe F. Kuat tekan mortar dengan *fly ash* Suralaya baru dilakukan hingga umur mortar berumur 28 hari, namun sifat dari *fly ash* tipe F terbukti dimana kuat tekan mengalami peningkatan yang signifikan dari hasil kuat tekan pada umur 7 hari. Dari hasil yang didapat, makin kecil nilai w/cm yang digunakan menyebabkan nilai kuat tekan yang makin tinggi. Hal ini terlihat dari hasil kuat tekan mortar dengan w/cm 0.35 yang rata-rata memiliki nilai kuat tekan paling tinggi pada grafik apabila dibandingkan w/cm 0.4 dan 0.45. Hal ini berkaitan dengan kepadatan dari campuran mortar, dimana semakin kecil w/cm yang digunakan membuat mortar makin padat dan memiliki kuat tekan yang tinggi.

Tabel 3. *Strength Activity Index*

Jenis FA	umur (hari)	% FA			
		10	20	30	40
<i>Strength Activity Index (%)</i>					
NGORO w/cm 0.35	7	135.62	143.84	167.40	x
	28	127.48	115.64	147.15	x
	56	124.11	115.28	117.49	x
SURALAYA w/cm 0.35	7	106.30	96.44	88.77	93.42
	28	100.00	108.25	92.81	116.70
	56	63.33	83.53	90.83	100.51

Tabel 3 menunjukkan nilai *strength activity index* dari penggunaan *fly ash* Ngoro dan Suralaya dengan w/cm yang memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 0.35. *Strength Activity Index* menunjukkan perbandingan antara kekuatan mortar yang mengandung *fly ash* dan mortar kontrol yang terbuat dari semen 100%. Dari tabel tersebut dapat terbaca bahwa penggunaan *fly ash* Ngoro memiliki pengaruh terhadap kuat tekan mortar, dimana nilai index di atas 100% yang berarti kuat tekan mortar meningkat dari mortar kontrol meskipun sifatnya yang menyerap air. Sedangkan untuk *fly ash* Suralaya memiliki rata-rata nilai index dibawah 100% yang berarti kuat tekan tidak meningkat.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas dapat di lihat bahwa :

- *Fly Ash* Ngoro memiliki sifat menyerap air dan berlawanan dengan sifat *fly ash* pada umumnya. Semakin banyak *fly ash* Ngoro yang digunakan akan membutuhkan air yang makin banyak karena kelecakan adukan yang berkurang.
- Sifat *fly ash* Ngoro yang menyerap air karena bentuk partikelnya yang tidak bulat sehingga air malah terserap kedalam pori-pori dan mengurangi kelecakan dari campuran.
- *Fly ash* Ngoro berpengaruh terhadap kuat tekan mortar, hal ini terlihat dari nilai *strength activity index* di atas 100% baik pada umur mortar 7 hari hingga 56 hari.
- w/cm optimum yang digunakan untuk mendapatkan kuat tekan mortar yang paling tinggi adalah 0.35. Kuat tekan yang optimum pada w/cm 0.35 didapat dengan penggantian *fly ash* sebanyak 10% hingga 30%. Tetapi semakin bertambahnya presentase *fly ash*, *superplasticizer* yang digunakan semakin bertambah.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Madhavi, T. C., Swamy Raju, L., & Mathur, D. (2014). Durabilty and Strength Properties of High Volume Fly Ash Concrete. *Journal of Civil Engineering Research*, 4(2A), 7–11. <https://doi.org/10.5923/c.jce.201401.02>
- Maryoto, A. (2008). Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash pada Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 10(2), 103–114.
- Paramitha, D. R., Meok, L. Y., & Hardjito, D. (2017). Pengaruh Kombinasi Semen-Fly Ash dan Variasi Water Content dengan Penambahan Superplasticizer terhadap Kepadatan Pasta. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 56–63.
- Robl, T., Mahboub, K., Stevens, W., & Rathbone, R. (2010). Fluidized Bed Combustion Ash Utilization: CFBC Fly Ash as a Pozzolanic Additive to Portland Cement Concrete . *Second International Confrence on Sustainable CONstruction Materials and Technologies Journal*, (June).
- Sebayang, S. (2010). Pengaruh Kadar Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen pada Beton Alir Mutu Tinggi. *Jurnal Rekayasa*, 14(1), 39–46.
- SNI 2460. (2014). *Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang Telah Dikalsinasi untuk Digunakan dalam Beton*.
- Wallah, S. E. (2011). Creep Behaviour of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Civil Engineering Dimension*, 12(2), 73–78. <https://doi.org/10.9744/ced.12.2.73-78>
- Yamada, K., Takahashi, T., Hanehara, S., & Matsuhisa, M. (2000). Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, 30(2), 197–207. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00230-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00230-6)
- Yilmaz, B., & Olgun, A. (2008). Studies on cement and mortar containing low-calcium fly ash, limestone, and dolomitic limestone. *Cement and Concrete Composites*, 30(3), 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.07.002>