

## PENGARUH VARIASI WATER/FLY ASH RATIO DAN METODE PENCAMPURAN KALSIUM PADA PASTA 100% FLY ASH TIPE C

Stella Patricia Angdiarto<sup>1</sup>, Chrisco Nathaniel Thomas<sup>2</sup>, Antoni<sup>3</sup>, Djwantoro Hardjito.<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Beberapa penelitian tentang beton 100% *fly ash* telah dilakukan, sehingga *fly ash* dapat digunakan dalam jumlah yang banyak untuk menggantikan semen. *Fly ash* yang digunakan merupakan *fly ash* tipe C yang mengandung kalsium oksida (CaO) yang sangat tinggi, karena dengan kadar kalsium yang tinggi maka kekuatan beton akan semakin bertambah. Meninjau dari hasil penelitian Sirapanji & Hadinata, di mana CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub> (kalsium hidroksida) yang ditambahkan menyebabkan kerusakan pada campuran pasta, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan kadar kalsium yang beragam, metode pemberian kalsium yang paling sesuai, serta menentukan w/FA terendah yang dapat dilakukan pada campuran pasta 100% *fly ash*. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa pasta 100% *fly ash* yang ditambahkan Ca(OH)<sub>2</sub> (metode A) dengan kadar 10% terbukti meningkatkan kuat tekan dan kepadatan lebih baik daripada penambahan Ca(OH)<sub>2</sub> (Metode A) dengan kadar 5%. Sampel mengalami peningkatan kekuatan dan kepadatan seiring penurunan w/FA. Tetapi w/FA yang terlalu rendah (dibawah 0,20) dapat merusak sampel yang ditambahkan Ca(OH)<sub>2</sub> dengan kadar 10%. Penambahan CaO (metode B) terbukti membuat sampel mengalami kerusakan. Kerusakan semua sampel diakibatkan oleh adanya pengembangan volume kapur bebas dan perubahan suhu yang besar dalam waktu yang cepat.

**KATA KUNCI:** pasta 100% *fly ash*, *water/fly ash ratio*, kalsium oksida, kalsium hidroksida, kuat tekan, kepadatan, kerusakan sampel pasta *fly ash*.

### 1. PENDAHULUAN

Semen merupakan bahan dasar yang paling penting dalam membuat beton. Namun, pembuatan semen juga berkontribusi terhadap pemanasan global (Lisantono, Wigroho, & Purba, 2017). Salah satu solusi untuk mengurangi pemakaian semen adalah penggantian semen dengan *fly ash*. Untuk meningkatkan penggunaan *fly ash* yang berlimpah, maka sangat penting menggunakan *fly ash* dalam jumlah yang banyak untuk menggantikan semen (Bilodeau & Malhotra, 2000). Penelitian yang dilakukan oleh Handoyo & Sutanto (2016), bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tekan mortar 100% *fly ash* dengan menambahkan senyawa kalsium, yaitu menggunakan kalsium oksida (CaO) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>). *Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang diambil dari PLTU Paiton, Probolinggo. Hasilnya dari penelitian tersebut adalah penambahan CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub> dapat mempercepat *setting time*, dan CaO juga dapat lebih mempercepat *setting time* dibandingkan dengan Ca(OH)<sub>2</sub>. Sedangkan untuk kuat tekan, CaO lebih banyak berperan meningkatkan kekuatan tekan untuk variasi sebanyak 3% dan 5% dan Ca(OH)<sub>2</sub> lebih banyak meningkatkan kekuatan tekan untuk variasi 7.5% dan 10%.

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, [stella4496@gmail.com](mailto:stella4496@gmail.com)

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

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

<sup>4</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, [djwantoro.h@petra.ac.id](mailto:djwantoro.h@petra.ac.id)

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Sirapanji & Hadinata (2017). CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub> yang ditambahkan menyebabkan kerusakan pada campuran pasta sehingga menyebabkan kerusakan pada pasta dan penurunan kekuatan yang signifikan (Sirapanji & Hadinata, 2017). Efek penambahan kalsium dalam kedua penelitian tersebut hasilnya sangat bertentangan, dan karenanya diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengklarifikasinya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan kalsium oksida dan kalsium hidroksida yang beragam, metode pemberian kalsium oksida yang paling sesuai, serta menentukan w/FA (*water/fly ash ratio*) terendah yang dapat dilakukan pada campuran pasta 100% *fly ash* tipe C dengan penambahan kalsium oksida dan kalsium hidroksida yang beragam.

## **2. STUDI LITERATUR**

### **2.1. Fly Ash**

*Fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang terbawa bersama gas buang. *Fly ash* bersifat pozzolan, sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada saat pembuatan semen dan juga bisa digunakan sebagai bahan pengganti semen (Maryoto, 2008). Menurut A.M. Neville, pada beton yang menggunakan *fly ash* kuat tekan beton akan naik ketika nilai pH beton telah mencapai 13,2 atau dapat dikatakan dalam keadaan basa (Neville, 2011).

### **2.2. Perkembangan dalam Penggunaan Fly Ash**

Penelitian tentang beton 100% *fly ash* awalnya telah dilakukan di Montana State University. *Fly ash* yang digunakan merupakan *fly ash* tipe C yang mengandung CaO yang sangat tinggi, karena dengan kadar kalsium yang tinggi maka kekuatan beton akan semakin bertambah. Kalsium sendiri merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan semen yang berasal dari batu kapur (Cross & Stephens, 2008). Pada zaman sekarang, *fly ash* tidak hanya digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton. Penggunaan *fly ash* berkembang menjadi “*High Volume Fly Ash Concrete*” (HVFAC), dimana penggunaan *fly ash* dapat mencapai 70% (Lisantonio et al., 2017).

## **3. RANCANGAN PENELITIAN**

### **3.1. Kerangka Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan kalsium oksida dan kalsium hidroksida yang beragam, metode pemberian kalsium yang paling sesuai, serta menentukan w/FA terendah yang dapat dilakukan pada campuran pasta 100% *fly ash* dengan penambahan kalsium oksida dan kalsium hidroksida yang beragam. Sampel dari penelitian ini diuji terhadap kuat tekan, *setting time*, berat jenis, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

### **3.2. Material yang Digunakan**

*Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo. Air yang digunakan adalah air suling. Kalsium oksida yang digunakan berasal dari batu gamping yang telah dibakar dan kemudian ditumbuk. *Superplasticizer* yang digunakan adalah *polycarboxylate* dengan merek dagang ViscoCrete®-1003 dari Sika. Dalam penelitian ini juga dilakukan pembuatan sampel kontrol mortar 100% *fly ash*. Pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang.

### 3.3. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat penumbuk kalsium, *mixer*, bekisting 5x5x5 cm, *vibrator*, *universal testing machine*, *thermocouple*, dan papan *flow*. *Universal testing machine* digunakan untuk menguji kekuatan tekan pada sampel pasta. *Thermocouple* digunakan untuk mengukur suhu campuran pasta setelah dicampur.

### 3.4. Mix Design

Pada penelitian ini, w/FA yang digunakan adalah 0,14 sampai dengan 0,29 dengan interval 0,03. *Mix design* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Mix Design**

Kombinasi	Fly Ash (gr)	Pasir (gr)	Kalsium (gr)	w/FA	Air (gr)	SP (%)
F1	4000	0	0	0,29	1160	0
F2				0,26	1040	0
F3				0,23	920	0
F4				0,20	800	0
F5				0,17	680	0
F6				0,14	560	0,15
A1	4000	0	200	0,29	1160	0
A2				0,26	1040	0
A3				0,23	920	0,15
A4				0,20	800	0,15
A5				0,17	680	0,75
A6				0,14	560	1,5
A7	4000	0	400	0,29	1160	0,2
A8				0,26	1040	0,2
A9				0,23	920	1
A10				0,20	800	1,3
A11				0,17	680	3
A12				0,14	560	3
B1	4000	0	200	0,29	1160	0
B2				0,23	920	0
B3				0,17	680	0
B4			400	0,29	1160	0
B5				0,23	920	0
B6				0,17	680	0,1
A10-M	1000	2000	100	0,20	140	1,7

Kombinasi F merupakan kontrol pasta 100% *fly ash* tipe C. Sedangkan kombinasi A dan B merupakan pasta 100% *fly ash* dengan penambahan kalsium menggunakan metode A dan B. Kadar kalsium yang digunakan adalah 5%, dan 10% terhadap berat *fly ash*.

### 3.5. Langkah Pembuatan Pasta

Setiap komposisi pasta 100% *fly ash* dengan variasi w/FA menggunakan metode *mixing* pada umumnya. Namun, komposisi pasta 100% *fly ash* dengan penambahan kalsium digunakan 2 metode yaitu penambahan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang dibuat dengan mereaksikan  $\text{CaO}+30\%$  air dari total berat air yang digunakan (Metode A) dan penambahan  $\text{CaO}$  kedalam *fly ash* (Metode B). Setelah pasta 100% *fly ash* telah

tercampur rata, maka dilakukan pengujian *flow table*. Selanjutnya, pasta 100 % *fly ash* dimasukkan ke dalam bekisting hingga penuh, kemudian digetarkan selama 1 menit dengan menggunakan *vibrator*. Kemudian permukaan atas bekisting diratakan dengan menggunakan cap. Komposisi pasta 100% *fly ash* yang telah dicetak ke dalam bekisting didiamkan selama 1 hari. Setelah itu bekisting dilepas dan dilakukan *curing* dengan cara memasukkan sampel ke dalam plastik *zipper*. Selanjutnya, sampel yang sudah mengeras diuji tekan pada umur pasta 7, 28 hari dan 56 hari. Uji tekan dilakukan berdasarkan SNI 03-1974-1990.

## 4. HASIL DAN ANALISA DATA

### 4.1. Analisa Material

Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui kandungan yang ada dalam *fly ash* sehingga dapat menentukan tipe *fly ash* yang digunakan. Pengujian XRF dilakukan oleh PT.Sucofindo. **Tabel 2** menunjukkan bahwa *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C dengan menggunakan standar pengujian ASTM D 4326-13.

**Tabel 2. Kandungan Senyawa Fly Ash**

Senyawa	% wt	ASTM C 618 (Fly Ash Tipe C)
SiO <sub>2</sub>	29,50	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,02	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,71	-
TiO <sub>2</sub>	0,72	-
CaO	22,34	Min. 10%
MgO	8,37	-
K <sub>2</sub> O	1,10	-
Na <sub>2</sub> O	2,09	-
SO <sub>3</sub>	1,90	Max. 5%
MnO <sub>2</sub>	0,19	-
LOI	0,36	Max. 6%
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62.23	Min. 50%

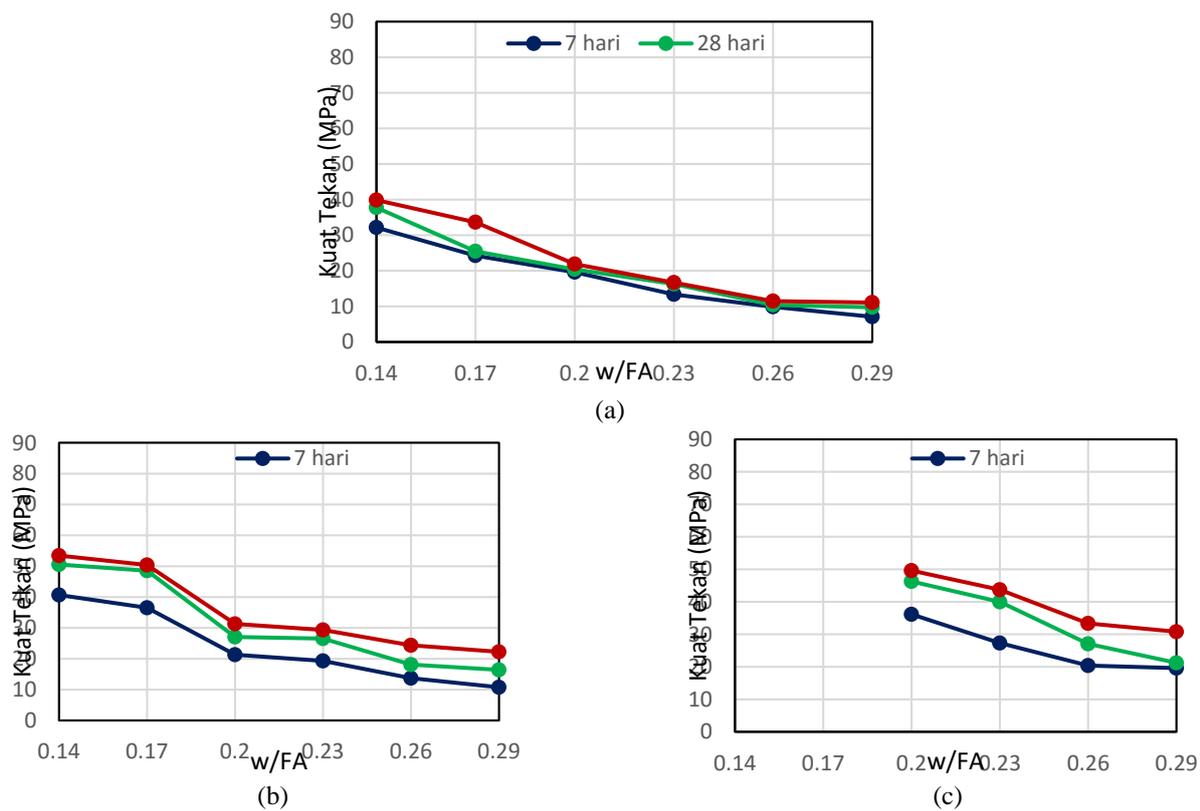
Pembuatan sampel mortar digunakan sebagai pembanding terhadap sampel pasta. Pasir diambil dari PT.SCG Ready Mix Indonesia dan dilakukan pengujian oleh PT.SCG Ready Mix Indonesia. Jenis pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang. Hasil pengujian pasir dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Pasir**

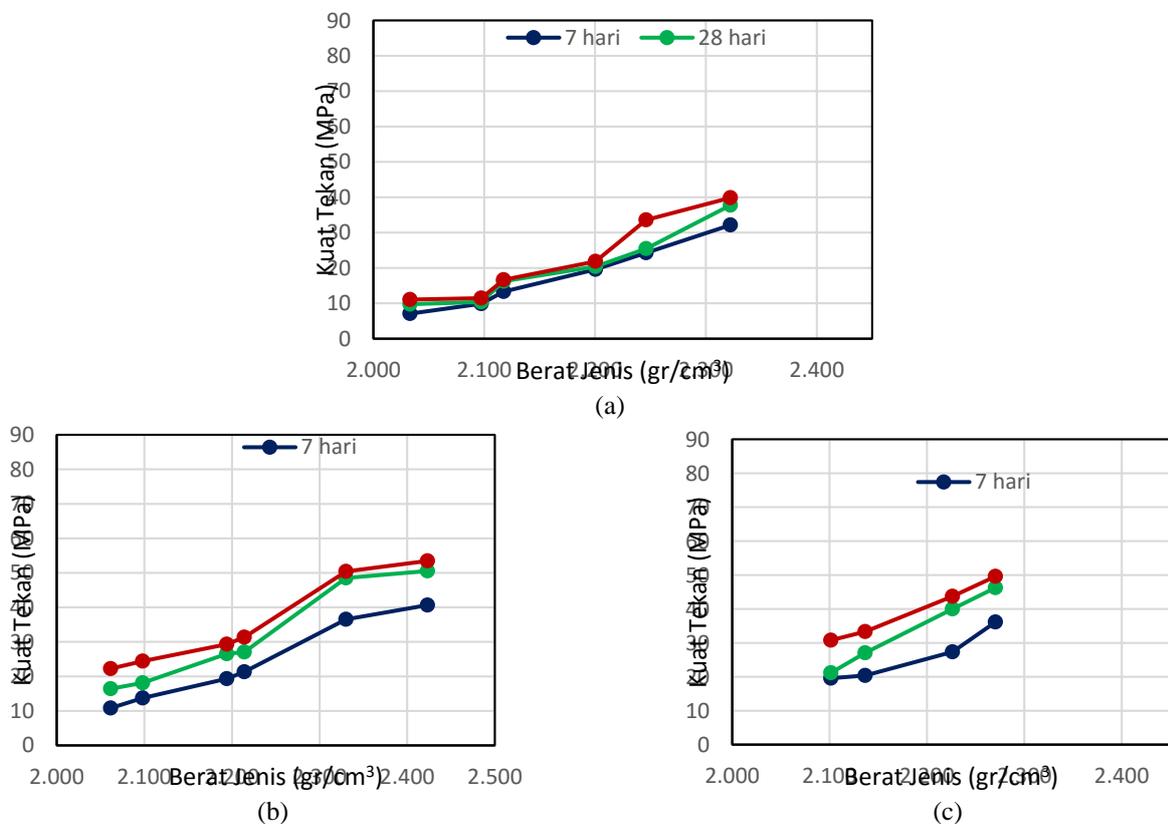
Pengujian	Standar Pengujian	Spesifikasi	Hasil
Lolos ayakan no.200 (%)	AS 1141-12, JMX WI 043	Max. 5%	5
<i>Fineness Modulus</i>	ASTM C33, AS 1141-11, JMX WI 044	2,3 – 3,1	2,45
<i>Water Absorption</i> (%)	ASTM C 128, JMX WI 045	Max. 3%	2,88
<i>Moisture Content</i> (%)	ASTM C 566, JMX WI 087	-	4,17
<i>Specific Gravity</i>	ASTM C 128, JMX WI 045	Min. 2,5	2,70

### 4.2. Analisa Pengaruh w/FA pada Sampel Pasta

Pada penelitian ini, sampel dibuat dengan variasi w/FA dari 0,14 sampai 0,29. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan w/FA dapat meningkatkan berat jenis dan kuat tekan sampel (**Gambar 1 dan 2**). Suhu sampel cenderung meningkat seiring dengan berkurangnya w/FA sama halnya dengan *Initial Setting Time* dan *Final Setting Time* cenderung semakin cepat.



Gambar 1. Pengaruh w/FA Terhadap Kuat Tekan Sampel Pasta 100% Fly Ash Kombinasi (a) Kontrol, (b) Metode A-5%, dan (c) Metode A-10%



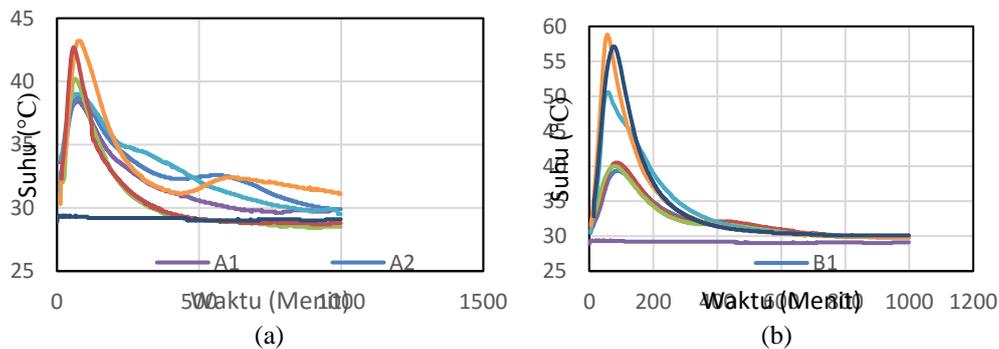
Gambar 2. Pengaruh w/FA Terhadap Berat Jenis Sampel Pasta 100% Fly Ash Kombinasi (a) Kontrol, (b) Metode A-5%, dan (c) Metode A-10%

### 4.3. Kerusakan Sampel Pasta Metode B

Pada sampel pasta metode B terjadi kerusakan dengan kandungan CaO sebanyak 5% dan 10%. (**Gambar 3**). Pada **Gambar 4** dapat dilihat bahwa faktor suhu bukan merupakan hal yang utama dalam rusaknya pasta. Hal ini dapat dibuktikan dari suhu tertinggi dari pasta metode B-5% (kombinasi B2 dengan suhu 40,5°C) yang tidak melebihi suhu pasta metode A-5% (kombinasi A5 dengan suhu 43,2°C). Faktor utama yang menyebabkan kerusakan dari pasta adalah pengembangan volume  $\text{Ca(OH)}_2$  akibat reaksi dari CaO dan air, di mana pengembangan volume tersebut mengakibatkan  $\text{Ca(OH)}_2$  terdesak keluar dari dalam pasta yang sudah mengalami *setting* dan menyebabkan kerusakan pada pasta.



**Gambar 3.** Sampel Pasta Metode B-10% dengan w/FA 0.23



**Gambar 4.** Hasil Pengukuran Suhu Sampel Pasta (a) Metode A-5% dan (b) Metode B

### 4.4. Perbandingan Penambahan Kalsium pada Mortar dan Pasta

Pembuatan sampel mortar bertujuan untuk membandingkan efek penambahan kalsium pada sampel pasta dan mortar. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pasir membantu dalam hal memecah butiran-butiran  $\text{Ca(OH)}_2$  yang ada menjadi lebih kecil (**Gambar 5**). Pada saat *mixing*, pasir pasir yang ikut tercampur bersama pasta *fly ash* seakan-akan menumbuk butiran-butiran  $\text{Ca(OH)}_2$  yang ada, sehingga dapat mengurangi resiko kerusakan akibat pengembangan CaO menjadi  $\text{Ca(OH)}_2$ . Suhu yang dicapai oleh sampel mortar lebih rendah daripada sampel pasta (**Gambar 6**). Hal ini dikarenakan pada mortar terdapat agregat yang tidak bereaksi dengan air seperti halnya *fly ash*.

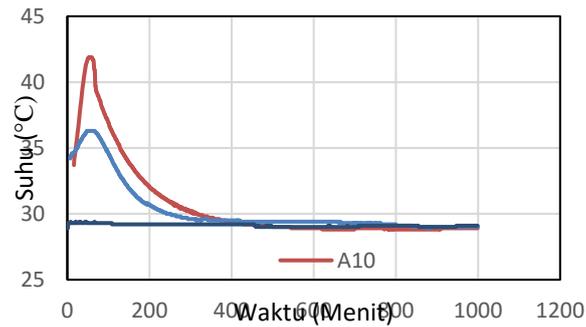


(a)



(b)

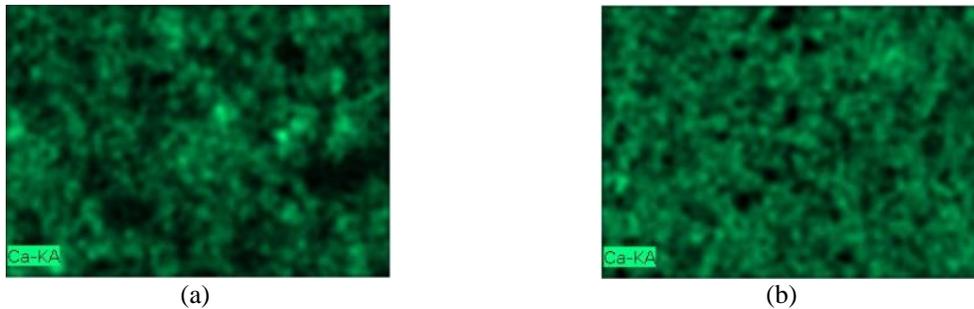
**Gambar 5.** Perbandingan Bagian Dalam Sampel (a) Pasta, (b) Mortar



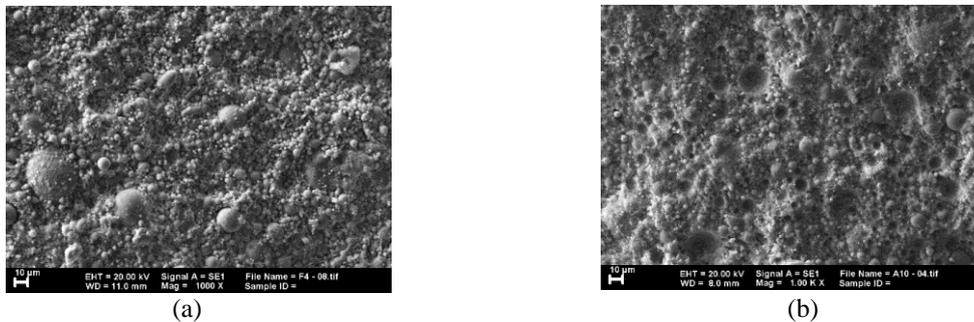
**Gambar 6. Hasil Pengukuran Suhu Sampel Pasta Kombinasi A10 dan Sampel Mortar Kombinasi A10-M**

#### 4.5. Pengujian *Scanning Electron Microscope & Energy Dispersive X-ray Analysis* (SEM-EDX)

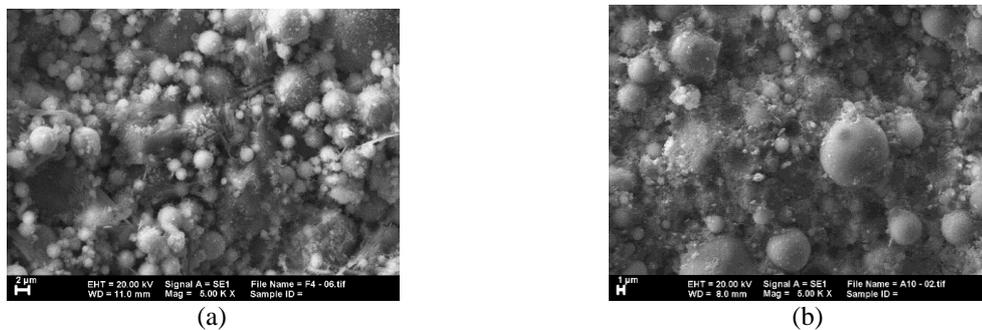
Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk sampel pasta 100% *fly ash* dengan kadar kalsium 0% dan 10% (metode A) dengan umur pasta 28 hari. Uji EDX bertujuan untuk mengetahui penyebaran partikel dari sampel, Hasil uji EDX untuk partikel kalsium (Ca) dapat dilihat pada **Gambar 7**. sedangkan uji SEM bertujuan untuk mengetahui karakteristik sampel (**Gambar 8 dan 9**).



**Gambar 7. Penyebaran Partikel Kalsium (a) Kadar Kalsium 0%, (b) Kadar Kalsium 10%**



**Gambar 8. Hasil Uji SEM Pembesaran 1000x (a) Kadar Kalsium 0%, (b) Kadar Kalsium 10%**



**Gambar 9. Hasil Uji SEM Pembesaran 5000x (a) Kadar Kalsium 0%, (b) Kadar Kalsium 10%**

Dari hasil uji EDX dapat dilihat bahwa penyebaran partikel kalsium lebih banyak terdapat pada sampel dengan penambahan kadar kalsium sebanyak 10%. Pada **Gambar 9(a)** dapat dilihat bahwa penyebab terjadi peningkatan kekuatan pada sampel dengan penambahan kadar kalsium 10% dikarenakan lebih banyak *fly ash* dan kalsium yang bereaksi menjadi “perekat” yang meningkatkan kuat tekan pasta. Pada **Gambar 9(b)** dapat dilihat dari banyaknya partikel *fly ash* yang tidak bereaksi (berbentuk bola) pada sampel dengan kadar kalsium 0%, di mana *fly ash* yang tidak bereaksi tersebut hanya berfungsi sebagai *filler* dalam sampel pasta (Termkhajornkit, Nawa, Fujisawa, & Minato, 2006).

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas dapat di lihat bahwa :

- Penurunan w/FA dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik, kepadatan dan suhu campuran
- Metode penambahan kalsium terbaik adalah metode A. Hal ini dibuktikan dengan kuat tekan tertinggi dicapai oleh campuran sampel pasta dengan w/FA 0,14 dan kadar kalsium 5% yang dibuat dengan mereaksikan CaO + 30% dari total kebutuhan air yang menghasilkan kuat tekan 53,47 MPa dicapai pada umur pasta 56 hari.
- Penambahan kalsium dengan kadar 10% yang dibuat dengan mereaksikan CaO + 30% dari total kebutuhan air (metode A) terbukti meningkatkan kuat tekan dan kepadatan lebih baik daripada penambahan kalsium dengan kadar 5%. Namun penambahan kalsium dengan kadar 10% menyebabkan kerusakan untuk w/FA di bawah 0,20.
- Penambahan CaO (metode B), baik dengan kadar 5% dan 10%, menyebabkan kerusakan untuk semua w/FA. Hal ini membuktikan penelitian yang dilakukan oleh Sirapanji dan Hadinata (2017).
- Adanya agregat halus dalam campuran mortar berpotensi untuk mengurangi resiko kerusakan pada sampel. Hal ini ditunjukkan dengan butiran-butiran kalsium yang lebih kecil pada campuran mortar akibat adanya agregat halus yang membantu menumbuk kalsium pada saat *mixing* dan menahan pengembangan kalsium pada saat *setting*.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Bilodeau, A., & Malhotra, M. V. (2000). High-volume fly ash system: Concrete Solution for Sustainable Development. *ACI Structural Journal*, 97(1), 41–48. <https://doi.org/10.14359/804>
- Cross, D., & Stephens, J. (2008). Evaluation of the Durability of 100 Percent Fly Ash Concrete. *Bioscience and Bioengineering*, 93(November 2006), 101–103.
- Handoyo, B. A., & Sutanto, D. R. (2016). *Studi Awal Pengembangan Beton 100% Fly Ash Kelas C Tanpa Aktivator*. Universitas Kristen Petra.
- Lisantono, A., Wigroho, H. Y., & Purba, R. A. (2017). Shear Behavior of High-volume Fly Ash Concrete as Replacement of Portland Cement in RC Beam. *Procedia Engineering*, 171, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.312>
- Maryoto, A. (2008). Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash pada Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 10(2), 103–114.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Essex: Pearson Education Limited. <https://doi.org/10.4135/9781412975704.n88>
- Sirapanji, O. M., & Hadinata, C. (2017). *Studi Pengembangan Beton 100% Fly Ash Tipe C: Pengaruh W/FA, Superplasticizer, dan Kalsium terhadap Kuat Tekan Pasta 100% Fly Ash*. Universitas Kristen Petra.
- Termkhajornkit, P., Nawa, T., Fujisawa, J., & Minato, D. (2006). *Influence of Fly Ash Replacement Ratio on Compositions of C-S-H Gel*. *コンクリート工学年次論文集*, 28(March 2015), 281–286.