

STUDI PENGEMBANGAN BETON 100% *FLY ASH* TIPE C: PENGARUH W/FA, *SUPERPLASTICIZER*, DAN KALSIUM TERHADAP KUAT TEKAN PASTA

Owen Malvin Sirapanji¹, Chrystian Hadinata², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : Penggunaan *fly ash* yang merupakan material sisa semakin banyak karena propertinya yang bisa digunakan sebagai pengganti semen. Penggunaannya berkembang dari hanya menjadi *filler* kemudian menjadi *High Volume Fly Ash* (HVFA) dan belakangan ini mulai berkembang menggunakan *fly ash* untuk menggantikan semen sepenuhnya. Beton 100% *fly ash* mulai dikembangkan untuk menggantikan semen, tetapi karena inovasi ini tergolong baru sehingga banyak variabel yang perlu ditinjau sehingga penelitian ini dimulai dengan pembuatan pasta 100% *fly ash*. Adapun variabel yang ditinjau adalah pengaruh metode *curing*, w/FA, *superplasticizer*, maupun percobaan substitusi kalsium untuk mendapatkan kuat tekan beton yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa pasta 100% *fly ash* lebih efektif bila di-*curing* dengan air jenuh kalsium. Sampel pasta 100% *fly ash* juga dapat menggunakan w/FA yang lebih rendah dibandingkan dengan semen dan menunjukkan peningkatan kekuatan dan kepadatan seiring penurunan w/FA. Penggunaan *superplasticizer* juga terbukti membantu *workability* sampel dengan w/FA rendah meski penggunaan yang berlebih dapat menyebabkan penurunan kekuatan dan *bleeding* pada sampel. Substitusi kalsium baik CaO dan Ca(OH)₂ menunjukkan pengaruh buruk pada sampel dan perlu ditinjau lebih lanjut. Umur dari *fly ash* juga ternyata dapat mempengaruhi hasil pasta 100% *fly ash*.

KATA KUNCI: 100% *fly ash*, *curing*, w/FA, *superplasticizer*, kalsium oksida, kalsium hidroksida, kuat tekan, berat jenis, pasta.

1. PENDAHULUAN

Fly ash merupakan material alternatif yang dapat menjadi pengganti dari semen yang biasanya digunakan sebagai bahan pengikat dari beton. Selain mudah didapatkan, penggunaan *fly ash* juga merupakan salah satu langkah untuk menjaga lingkungan karena *fly ash* merupakan salah satu material sisa (abu) dari proses pembakaran batu bara (Rebeiz & Craft, 2002). Penggunaan *fly ash* pada awalnya digunakan sebagai mineral tambahan yang digunakan untuk meningkatkan *workability* dan mengurangi *bleeding* pada beton segar, sedangkan pada beton keras dapat meningkatkan kekuatan jangka panjang beton, durabilitas, kepadatan, dan mengurangi penyusutan beton (Nugraha & Antoni, 2004). Kadar yang digunakan juga hanya berkisar 15% - 25% dari berat material pengikatnya (Thomas, 2007). Seiring berkembangnya zaman, penggunaan *fly ash* juga mengalami perkembangan menjadi HVFA (*high volume fly ash*) dan bahkan menjadi beton 100% *fly ash*. Umumnya, *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang memiliki kadar CaO yang tinggi. Tentunya masih banyak penelitian yang harus dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari beton 100% *fly ash* ini. Penelitian yang dilakukan oleh Handoyo dan Sutanto (2016) berhasil membuat mortar 100% *fly ash* dengan campuran senyawa kalsium dan boraks. Hasil tes tekan pada mortar tersebut berhasil mendapatkan kekuatan tekan 22 MPa pada

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, owenmalvin@gmail.com

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, chrystianhadinata@rocketmail.com

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

umur 7 hari dan 37 MPa pada umur 28 hari. Senyawa kalsium CaO dan Ca(OH)₂ bisa bereaksi dengan senyawa silikon dan aluminium pada *fly ash* yang mana dapat meningkatkan kekuatan tekan beton 100% *fly ash* (Chandra, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh w/FA dan substitusi kalsium terhadap kuat tekan, kepadatan, dan *setting time* dari beton 100% *fly ash*.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Fly Ash

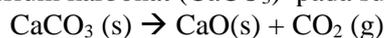
Fly ash adalah limbah padat yang berbentuk abu yang dihasilkan oleh proses pembakaran batubara yang ada di pembangkit tenaga listrik. Material ini memiliki ukuran butiran yang halus dan berwarna keabu-abuan (Wardani, 2008). Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *workability*, dan mengurangi terjadinya *bleeding* serta segregasi pada beton segar. Selain itu, penggunaan *fly ash* juga dapat meningkatkan kekuatan tekan beton dalam jangka panjang, memadatkan beton, mengurangi penyusutan beton, dan meningkatkan durabilitas beton (Nugraha & Antoni, 2004).

2.2. Perkembangan dalam Penggunaan Fly Ash

Pada awalnya, *fly ash* hanya digunakan sebagai material pengganti semen yang digunakan tidak lebih dari 25% pada campuran beton (Roskos et al., 2011). Kemudian penggunaan *fly ash* berkembang menjadi *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFAC), dimana *fly ash* yang digunakan lebih dari 50% untuk menggantikan semen dalam campuran beton. Kemudian sekitar 17 tahun yang lalu, *Montana State University* (MSU) melakukan penelitian yang menghasilkan beton tanpa semen. Semua semen digantikan oleh *fly ash*. Penelitian yang dilakukan saat itu menggunakan *fly ash* kelas C yang memiliki kandungan kalsium yang tinggi. Kesulitan yang timbul adalah cepatnya *setting* yang terjadi pada campuran akibat penggunaan *fly ash* kelas C karena campuran memiliki kandungan kalsium yang tinggi (Berry, Cross, & Stephens, 2009).

2.3. Kalsium Oksida

Kalsium oksida (CaO) memiliki wujud padatan kristal berwarna putih. Kalsium oksida dihasilkan dari pemanasan batu kapur, batu karang, cangkang kerang laut, ataupun kapur yang sebagian besar terdiri dari kalsium karbonat (CaCO₃) pada suhu 500-600°C (proses kalsinasi), dengan perumusan reaksi:



Reaksi ini bersifat *reversible*, dimana saat CaO yang terbentuk dari proses sebelumnya dingin, CaO akan bereaksi dengan CO₂ yang berasal dari udara dan membentuk CaCO₃ (Shakhashiri, 2000).

2.4. Superplasticizer

Superplasticizer adalah jenis *admixture* yang digunakan untuk mengencerkan campuran beton (meningkatkan *workability*) tanpa menambahkan air. Menurut kondisinya, *superplasticizer* memiliki dua kegunaan, yaitu saat dalam keadaan plastis dan saat keadaan keras. Kegunaannya saat dalam keadaan plastis yaitu meningkatkan *workability*, dan memperlambat *setting time* dari campuran beton. Kegunaannya saat dalam keadaan keras yaitu dapat meningkatkan kekuatan tekan beton (Rixom & Mailvaganam, 1999).

2.5. Penelitian yang Pernah Dilakukan

Penelitian yang dilakukan oleh Cross dan Stephens (2006) beserta partnernya bertujuan untuk mengidentifikasi *fly ash* lain yang bisa digunakan dalam pembuatan beton 100% *fly ash*. Ada tiga jenis *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *fly ash* yang berasal dari pembangkit listrik Port Neal, Dave Johnston, dan Council Bluffs. Sebelum penelitian ini dilakukan, ada penelitian tentang pembuatan beton 100% *fly ash* (berasal dari pembangkit listrik Correte), dimana kuat tekan pada umur satu harinya mencapai 2900 psi (20 MPa), umur 28 harinya mencapai 4800 psi (33 MPa), dan pada umur satu tahunnya mencapai 8000 psi (55,2 MPa). Hasil *slump* pada beton ini yaitu 6 inch (15,24 cm). Beton ini dibuat tanpa menggunakan *admixture* tambahan, dan suhu saat dilakukannya *curing* adalah suhu ruangan. Beton yang menggunakan *fly ash* dari Correte ini digunakan sebagai kontrol untuk beton 100% *fly ash* yang berasal dari tiga pembangkit listrik lainnya. Hasilnya menunjukkan bahwa dua dari tiga *fly ash* yaitu Port Neal dan Dave Johnston, memiliki kuat tekan yang berdekatan dengan beton 100% *fly ash* yang berasal dari pembangkit listrik Corette.

Penelitian yang dilakukan oleh Handoyo & Sutanto (2016) adalah peningkatan mutu beton 100% *fly ash* dengan penambahan senyawa kalsium. Senyawa kalsium tersebut adalah kalsium oksida CaO dan kalsium hidroksida Ca(OH)₂. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah mortar. Ada dua jenis mortar yang digunakan, yaitu kombinasi mortar 100% *fly ash* dengan CaO dan kombinasi mortar 100% *fly ash* dengan Ca(OH)₂. Kadar CaO dan Ca(OH)₂ yang digunakan sebesar 3%; 5%; 7,5%; dan 10% sebagai pengganti *fly ash*. Penambahan boraks sebesar 0,8%; 1%; 1,2% dibutuhkan oleh campuran beton yang memiliki kandungan CaO atau Ca(OH)₂ sebesar 7,5% dan 10% untuk mengatasi peristiwa *flash setting*. Kebutuhan SP disesuaikan dengan kekentalan pasta tiap campuran. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut yaitu penambahan senyawa kalsium dapat mempercepat *setting time* dan meningkatkan kuat tekan sampel dan penambahan boraks dapat memperlambat *setting time* yang terjadi pada sampel.

3. RANCANGAN PENELITIAN

3.1. Kerangka Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menganalisa efisiensi penggunaan *fly ash* sebanyak 100% sebagai pengganti semen sepenuhnya, disertai dengan substitusi CaO dan penambahan SP dengan variasi *water cement ratio* dalam *mix design*. Dengan penelitian ini, diharapkan peneliti dapat menganalisa pengaruh substitusi CaO, penambahan SP, dan variasi *water cement ratio* pada kuat tekan, berat jenis, dan *setting time* dari beton 100% *fly ash*.

3.2. Material yang Digunakan

Fly ash yang digunakan adalah *fly ash* kelas C (Kadar CaO tinggi) yang berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo. Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air suling. Kalsium oksida yang digunakan dalam penelitian berasal dari batu gamping yang kemudian ditumbuk dan diayak. Kalsium oksida yang digunakan adalah kalsium oksida yang lolos ayakan no #200 (75µm). *Superplasticizer* yang digunakan adalah Viscocrete 1003 tipe *polycarboxylate* dari Sika

3.3. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ayakan no #200, alat penumbuk kalsium, *mixer*, bekisting, *vibrator*, *Universal Testing Machine*, pH meter, *thermocouple*, dan papan *flow*. *Universal Testing Machine* digunakan untuk menguji kekuatan tekan pada sampel pasta. *Thermocouple* digunakan untuk mengukur suhu campuran pasta setelah dicampur. Pada *thermocouple*, interval waktu penyimpanan data suhu campuran adalah satu menit, dan suhu campuran pasta diukur selama satu hari.

3.4. Mix Design

Setiap komposisi campuran diperuntukkan untuk membuat enam benda uji, dimana ukuran benda uji masing-masing adalah 5 cm x 5 cm x 5 cm. Pada setiap campuran dibuat sebanyak enam buah sampel yang kemudian pada umur beton 7 dan 28 hari diuji kuat tekan dan diambil rata-rata hasil analisisnya. Tiga sampel diuji pada umur 7 hari, sedangkan tiga sampel lainnya diuji pada umur 28 hari. Pada penelitian ini, ada dua jenis *mix design*, yaitu *mix design* dengan variasi *water cement ratio* tanpa kalsium (**Tabel 1**) dan dengan kalsium (**Tabel 2**).

Tabel 1. Komposisi Campuran Pasta 100% Fly Ash dengan Variasi Water Cement Ratio

Kombinasi	w/FA	CaO (%)	FA (gr)	CaO (gr)	Air (gr)	SP (mL)	SP/FA (%)
W0,29	0,29	0	2300	0	667	0	0
W0,26	0,26	0	2300	0	598	0	0
W0,23	0,23	0	2300	0	529	0	0
W0,20	0,20	0	2300	0	460	0	0
W0,17	0,17	0	2300	0	391	0	0
W0,14	0,14	0	2300	0	332	5	0,23
W0,11	0,11	0	2300	0	253	10	0,46
W0,08	0,08	0	2300	0	184	57	2,63

Tabel 2. Komposisi Campuran Pasta 100% Fly Ash dengan Variasi Water Cement Ratio dan Kadar CaO

Kombinasi	w/FAC	CaO (%)	FA (gr)	CaO (gr)	Air (gr)	SP (mL)	SP/(FA+CaO) (%)
C5W0,29	0,29	5	2185	115	667	0	0
C5W0,23	0,23	5	2185	115	529	0	0
C5W0,17	0,17	5	2185	115	391	0	0
C5W0,14	0,14	5	2185	115	332	10	0,46
C5W0,11	0,11	5	2185	115	253	20	0,92
C10W0,29	0,29	10	2070	230	667	0	0
C10W0,23	0,23	10	2070	230	529	0	0
C10W0,17	0,17	10	2070	230	391	10	0,46
C10W0,14	0,14	10	2070	230	322	10	0,46
C10W0,11	0,11	10	2070	230	253	30	1,38

3.5. Langkah Pembuatan Pasta

Pertama-tama, material dan peralatan yang dibutuhkan sesuai *mix design* disiapkan. Kemudian, material padat (CaO dan *fly ash*) dicampur hingga merata. Lalu air yang telah disiapkan dituangkan ke dalam campuran material dan diaduk. Setelah campuran merata, *superplasticizer* (SP) dituangkan dan campuran pasta diaduk kembali hingga SP bereaksi yang ditunjukkan dengan lecaknya campuran tersebut. Selanjutnya, pasta dimasukkan ke dalam bekisting hingga penuh, kemudian digetarkan selama 2 menit dengan menggunakan *vibrating table*. Setelah digetarkan, pasta dalam bekisting mengalami penurunan sehingga perlu dilakukan penambahan pasta hingga bekisting terisi penuh. Untuk itu, bekisting harus digetarkan kembali. Kemudian permukaan atas bekisting diratakan dengan menggunakan kapi yang berukuran besar, sehingga perataan permukaan bekisting bisa lebih mudah. Campuran pasta yang telah dicetak ke dalam bekisting didiamkan selama 1 hari dan setelah itu bekisting dilepas.

3.6. Pengujian Kuat Tekan

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada hari ke 7 dan 28. Sebelum dilakukan pengujian, pada hari sebelumnya benda uji dikeluarkan dari wadah *curing*. Alat yang digunakan adalah *Universal Testing Machine* merk JTM dengan kapasitas tekan 300 kN.

4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Analisa Material

Dalam penelitian ini, analisa material yang dilakukan adalah analisa ayakan, pengujian *specific gravity*, dan pengujian XRF. Hasil dari analisa ayakan yaitu persentase *fly ash* yang tertahan pada ayakan no #325 (44 μ m) sebesar 23%. Hasil dari pengujian *specific gravity* yaitu nilai GS dari *fly ash* yang digunakan sebesar 2,824. Hasil dari pengujian XRF dapat dilihat pada **Tabel 3**. Dari **Tabel 3**, didapatkan hasil $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 65$ ($50 \leq 65 \leq 70$) dan kadar CaO diatas 10% yaitu 19,59%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *fly ash* termasuk dalam kategori tipe C.

Tabel 3. Kandungan Senyawa Fly Ash

Senyawa	%wt	Standar Pengujian
SiO ₂	33,04	ASTM D4326-11
Al ₂ O ₃	15,79	ASTM D4326-11
Fe ₂ O ₃	16,17	ASTM D4326-11
TiO ₂	0,75	ASTM D4326-11
CaO	19,59	ASTM D4326-11
MgO	8,24	ASTM D4326-11
K ₂ O	1,20	ASTM D4326-11
Na ₂ O	2,08	ASTM D4326-11
SO ₃	1,89	ASTM D4326-11
MnO ₂	0,21	ASTM D4326-11
LOI	0,25	ASTM D7348-13

4.2. Analisa Pengaruh Metode *Curing* terhadap Pasta

Pada pengujian ini, dua jenis metode *curing* dilakukan pada sampel dengan *mix design* yang sama. Hasil dari pengujian ini yaitu sampel pasta 100% *fly ash* yang di-*curing* dengan air kalsium jenuh memiliki berat jenis dan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang di-*curing* dengan air PDAM. Hasil tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Berat Jenis dan Kuat Tekan Sampel Pasta dengan Metode *Curing* yang Berbeda

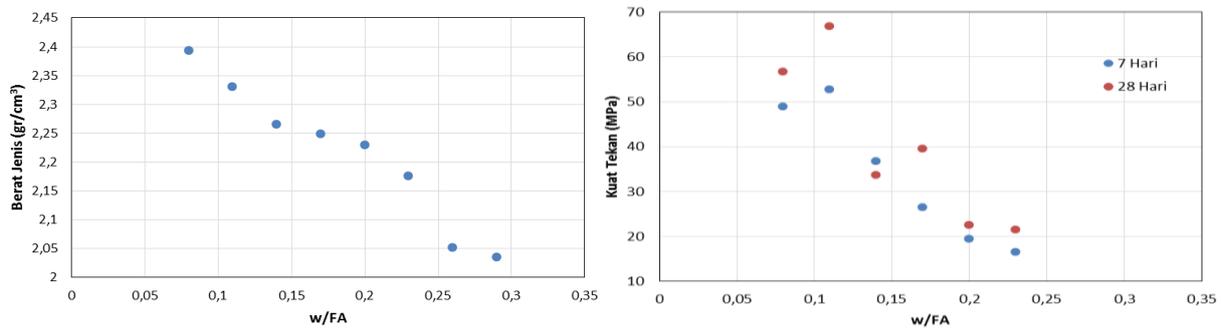
Kode	Berat Jenis (gr/cm ³)	Kuat Tekan 7 hari (MPa)	Kuat Tekan 28 hari (MPa)
1	2,265	36,33	35,4
2	2,235	28,93	30,6

4.3. Analisa Pengaruh W/FA terhadap Pasta

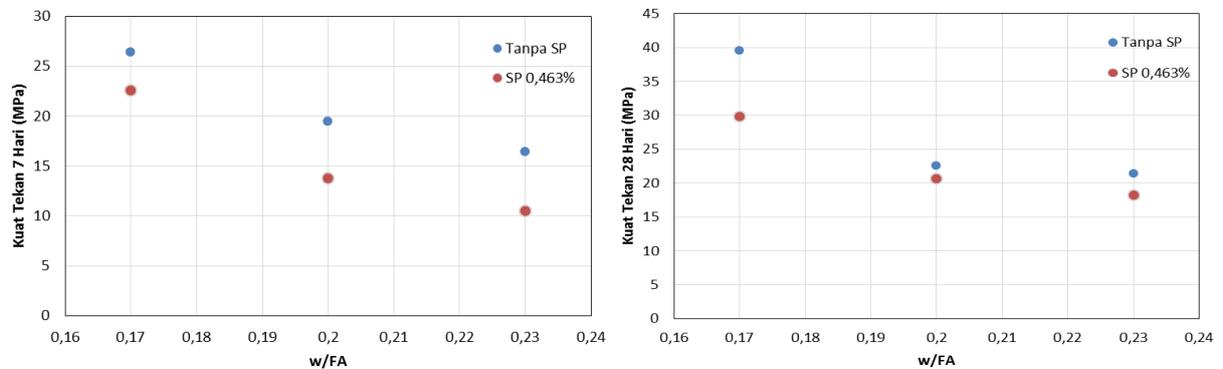
Pada pengujian ini, sampel dibuat dengan variasi w/FA dari 0,08 sampai 0,29. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa penurunan w/FA dapat meningkatkan berat jenis dan kuat tekan (**Gambar 1**) sampel. Terdapat titik optimum kuat tekan yang dapat dicapai dengan menurunkan w/FA sampel. Pada pengujian ini, terdapat penurunan kekuatan tekan dari sampel dengan w/FA (*water per fly ash ratio*) 0,11 ke w/FA 0,08.

4.4. Analisa Pengaruh Superplasticizer terhadap Pasta

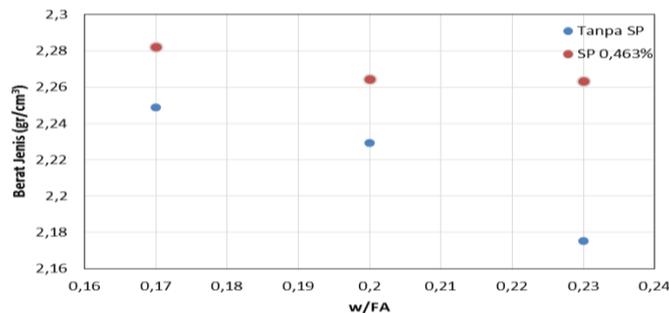
Pada pengujian ini, sampel dengan w/FA 0,17 sampai 0,23 yang sudah *workable* dicoba untuk ditambahkan SP sebanyak 0,463%. Hasil dari pengujian ini yaitu terjadi penurunan kekuatan tekan pada sampel (**Gambar 2**), walaupun berat jenis sampel mengalami kenaikan (**Gambar 3**). Jadi, berat jenis yang lebih tinggi tidak selalu berarti kekuatan tekan yang lebih tinggi.



Gambar 1. Pengaruh W/FA Terhadap Berat Jenis dan Kuat Tekan Pasta Tanpa Kalsium



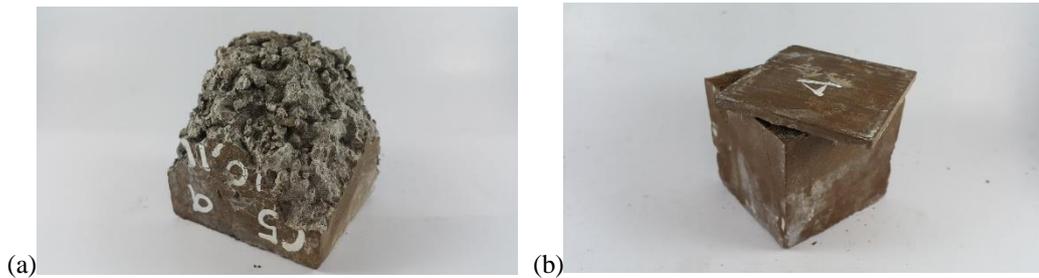
Gambar 2. Perbandingan Kuat Tekan antara Pasta Tanpa Kalsium Ber-SP dan Tidak Ber-SP dengan w/FA 0,17 sampai 0,23



Gambar 3. Pengaruh Berat Jenis Terhadap Kuat Tekan antara Pasta Tanpa Kalsium Ber-SP dan Tidak Ber-SP dengan w/FA 0,17 sampai 0,23

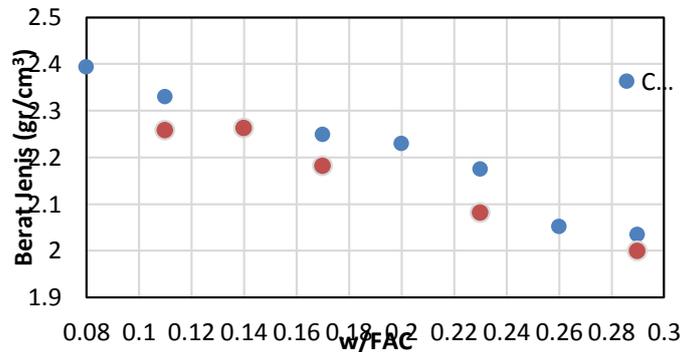
4.5. Analisa Pengaruh Substitusi Kalsium terhadap Pasta

Pengujian ini dilakukan dengan mengganti *fly ash* sebesar 5% dan 10% menjadi kalsium. Substitusi kalsium sebanyak 5% dapat merusak sampel pasta seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4(a)**. Hal ini disebabkan oleh proses reaksi CaO dengan air yang menghasilkan Ca(OH)₂, sehingga terjadi pengembangan volume yang mengakibatkan rusaknya sampel. Penggantian CaO dengan Ca(OH)₂ tetap mengakibatkan kerusakan pada sampel, tetapi kerusakan tersebut berbeda, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4(b)**.

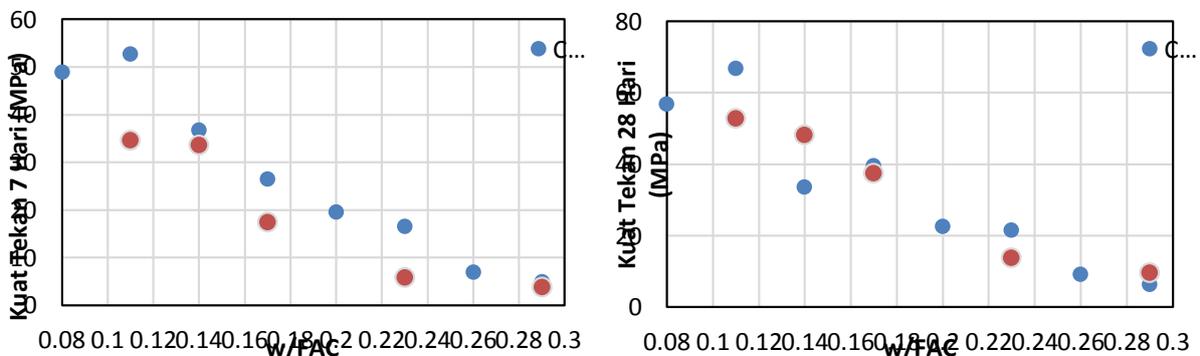


Gambar 4. Kerusakan Sampel dengan Substitusi Kalsium (a) CaO (b) Ca(OH)₂

Substitusi kalsium sebanyak 10% tidak merusak pasta seperti yang terjadi pada sampel dengan Substitusi kalsium sebanyak 5%. Hal ini dikarenakan oleh jumlah kalsium yang relatif lebih banyak yang tidak bereaksi dengan air yang sedikit. Hasilnya menunjukkan bahwa Substitusi kalsium justru menurunkan berat jenis serta kekuatan tekan dari sampel pasta, seperti yang dapat kita lihat pada **Gambar 5 dan 6**.



Gambar 5. Perbandingan Berat Jenis Sampel Tanpa Kalsium dan dengan Substitusi Kalsium 10%



Gambar 6. Perbandingan Kuat Tekan Sampel Tanpa Kalsium dan dengan Substitusi Kalsium 10%

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas dapat di lihat bahwa :

- *Curing* yang paling baik dilakukan untuk pasta 100% fly ash adalah *curing* dengan air kalsium jenuh.
- Penurunan w/FA membuat pasta menjadi lebih padat yang ditandai dengan meningkatnya berat jenis pasta, tetapi dengan konsekuensi pasta yang menjadi tidak *workable*. Berat jenis tertinggi didapatkan pada pasta dengan w/FA 0,08 yaitu sebesar 2,39.
- Penurunan w/FA meningkatkan kuat tekan pada sampel pasta, baik pada 7 maupun 28 hari. Kuat tekan tertinggi didapatkan pada w/FA 0,11 yakni 52,87 MPa pada 7 hari dan 66,77 MPa pada 28 hari.
- Penambahan SP pada *mix design* yang sudah *workable* membuat pasta lebih padat, tetapi terdapat penurunan kekuatan tekan baik pada umur 7 maupun 28 hari jika dibandingkan dengan hasil pada sampel yang tidak ditambah SP. Penambahan SP yang berlebihan ini juga mengakibatkan *bleeding* pada permukaan pasta.
- Substitusi CaO berdampak buruk terhadap pasta baik pada kadar 5% maupun pada kadar 10%. Substitusi CaO maupun Ca(OH)₂ dengan kadar 5% menyebabkan kerusakan pada sampel pasta. Substitusi CaO dengan kadar 10% menyebabkan kerusakan pada sampel pasta dan menyebabkan penurunan kekuatan yang signifikan dibandingkan dengan sampel pasta tanpa substitusi CaO.

6. DAFTAR REFERENSI

- Berry, M., Cross, D., & Stephens, J. (2009). Changing the Environment: An Alternative “Green” Concrete Produced without Portland Cement. *3rd World of Coal Ash, WOCA Conference*, May 4, 2009 - May 7, 2009, 2009.
- Chandra, L. (2015). *Penggunaan Kombinasi Fly Ash-Silica Fume dan Kalsium Karbonat terhadap Workability dan Kuat Tekan Mortar*. Universitas Kristen Petra.
- Cross, D., & Stephens, J. (2008). *Evaluation of the Durability of 100 Percent Fly Ash Concrete*, (November 2006).
- Handoyo, B. A., & Sutanto, D. R. (2016). *Studi Awal Pengembangan Beton 100% Fly Ash Kelas C Tanpa Aktivator*. Universitas Kristen Petra.
- Nugraha, P., & Antoni. (2004). *Teknologi Beton*. (S. Suyantoro, Ed.) (Ed.I). Andi Offset. Yogyakarta
- Rebeiz, K. S., & Craft, A. P. (2002). Polymer Concrete Using Coal Fly Ash. *Journal of Energy Engineering*, 128(3), 62–73. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9402\(2002\)128:3\(62\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9402(2002)128:3(62))
- Rixom, R., & Mailvaganam, N. (1999). *Chemical Admixtures for Concrete* (3rd ed.). E & FN Spon. London
- Roskos, C., Cross, D., Berry, M., & Stephens, J. (2011). Identification and Verification of Self-Cementing Fly Ash Binders for “Green” Concrete. *World of Coal Ash(WOCA)Conference*, 2011.
- Shakhashiri. (2000). Lime : Calcium Oxide CaO. *Chemistry* 103-1, 1–2.
- Thomas, M. (2007). Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete. *Portland Cement Association*, 24.
- Wardani, S. P. R. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Pidato Pengukuhan Guru Besar, 1–71.