

PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DENGAN CANGKANG TELUR AYAM DAN *FLY ASH* PADA KARAKTERISTIK MORTAR BETON

Gede Alim Jaya Sasmita¹, Mishuela Ratnasari Fernando², Handoko Sugiharto³

ABSTRAK : Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian cangkang telur ayam dan *fly ash* pada campuran semen terhadap karakteristik mortar beton. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan membandingkan hasil uji kuat tekan, waktu pengikatan, daya sebar, dan penyerapan air pada mortar beton normal dengan mortar beton yang mengandung cangkang telur dan *fly ash*. Dari hasil percobaan tersebut, maka pengaruh pemberian cangkang telur ayam dan *fly ash* dapat diketahui. Dari analisa yang telah dilakukan, mortar beton dengan kadar cangkang telur 20% dan *fly ash* 10% memiliki waktu pengikatan yang lebih cepat dari mortar beton lainnya. Mortar beton dengan kadar cangkang telur 20% dan *fly ash* 10% juga memiliki % *flow* yang lebih rendah dibandingkan mortar beton normal. Kemudian, dari hasil uji kuat tekan, mortar beton dengan kadar cangkang telur 5% dan *fly ash* 10% memiliki kekuatan tekan lebih tinggi dari mortar beton yang lain. Pada penelitian ini yang memiliki penyerapan air cukup tinggi yaitu pada mortar beton dengan kadar cangkang telur 20% dan *fly ash* 10%.

KATA KUNCI: semen, cangkang telur, *fly ash*, mortar beton, kuat tekan, waktu pengikatan, daya sebar, penyerapan air

1. PENDAHULUAN

Inovasi dalam dunia konstruksi banyak bermunculan, terutama pada bidang material. Seperti diketahui, bila mendengar mengenai dunia konstruksi, tentunya kebutuhan material dan bahan seperti kayu, baja, ataupun beton menjadi hal yang utama. Inovasi material beton kini banyak bermunculan dan menjadi hal yang sangat dibutuhkan. Inovasi - inovasi itu dapat berupa penggunaan suatu material yang bersifat *additive*. Cangkang telur ayam sebagai limbah masyarakat memiliki kandungan kalsium yang cukup tinggi. Oleh karena itu, cangkang telur ayam diharapkan dapat menjadi bahan yang bersifat *additive* dalam mortar beton dan dapat meningkatkan kinerja serta mutu mortar beton. Selain itu, zat kalsium oksida (CaO) di dalam cangkang telur ayam diharapkan dapat menjadi solusi pada kasus pengecoran yang membutuhkan durasi *setting time* yang lebih cepat, penutup kebocoran pada bangunan dan pengecoran pada iklim dingin di mana pengikatan berjalan lebih lambat. Namun penelitian - penelitian penggunaan cangkang telur ayam sudah pernah dilakukan tetapi mengakibatkan penurunan kuat tekannya. Hal ini disebabkan kandungan CaO yang semakin besar dapat mengakibatkan bertambahnya senyawa kalsium hidroksida. Dengan kelebihan CaO dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara kalsium oksida dan silikat. Telah diketahui bahwa material *fly ash* mengandung kandungan silikat yang cukup tinggi. Selain itu, *fly ash* juga merupakan bahan sisa yang mudah ditemukan. Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan analisa pengaruh pemberian cangkang telur ayam dan *fly ash* pada campuran semen terhadap karakteristik mortar beton.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415003@john.petra.ac.id.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415161@john.petra.ac.id.

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

2. TINJAUAN PUSTAKA

Mortar (sering disebut juga mortel atau spesi) adalah campuran yang terdiri dari pasir, bahan perekat serta air, dan diaduk sampai homogen. Pasir sebagai bahan bangunan dasar harus direkatkan dengan bahan perekat (Tjokrodinuljo, 1996). Bahan perekat yang digunakan dapat bermacam-macam, yaitu dapat berupa tanah liat, kapur, semen merah (bata merah yang dihaluskan), maupun semen *portland*. Mortar dapat ditingkatkan kinerja dan mutunya dengan memberi suatu bahan yang memiliki sifat *additive*. Akhir – akhir ini banyak dilakukan penelitian mengenai penggunaan bahan sisa atau limbah menjadi bahan yang bersifat *additive* bagi semen. Telah diketahui bahwa di beberapa daerah, cangkang telur ayam menjadi masalah karena menjadi limbah dalam jumlah yang sangat besar. Maka dari itu, limbah cangkang telur ayam tersebut dapat diolah kembali menjadi inovasi material beton. Cangkang telur ayam diyakini dapat berguna bagi dunia teknik sipil dalam hal material beton karena bisa menjadi *accelerator* yang baik.

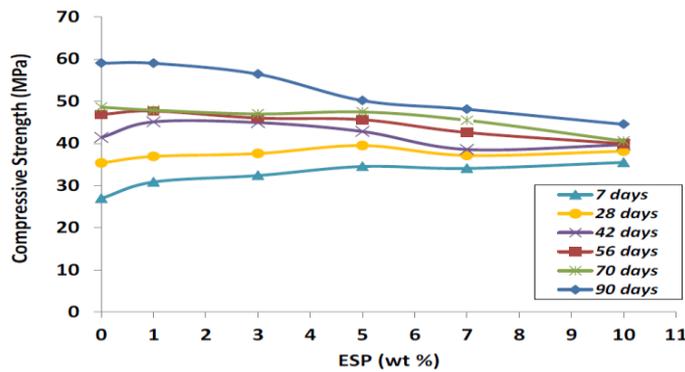
Cangkang telur ayam diketahui memiliki kandungan CaCO_3 yang cukup tinggi. Kandungan utama dalam cangkang telur adalah kalsium, magnesium karbonat dan protein (Pliya dan Cree, 2015). Kandungan kimia yang terkandung dalam cangkang telur ayam disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kandungan Kimia pada Semen dan Cangkang Telur Ayam
(Ujin, Ali, Harith, 2016)

	Cement	Eggshell
SiO_2	22.8	0.08
Al_2O_3	6.6	0.04
Fe_2O_3	4.1	0.02
CaO	62.5	53.6
MgO	2.7	0.01
Na_2O	0.4	0.13
K_2O	0.4	-
SO_3	2.5	0.61
Others	-	0.62

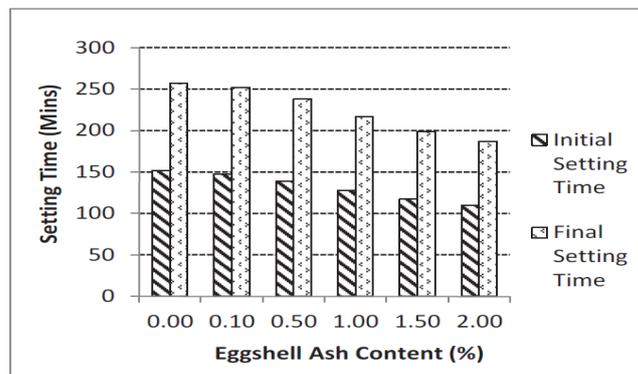
Cangkang telur ayam kemudian akan dibersihkan lalu dihancurkan atau ditumbuk hingga menjadi bubuk berbutir halus dan disaring dengan ukuran yang dibutuhkan. Proses pembersihan dan penghancuran dilakukan agar mendapatkan zat *calcite* / kalsium karbonat (CaCO_3) yang murni (Pliya dan Cree, 2015). Bubuk cangkang telur ayam yang sudah tersedia dipanaskan 900°C dalam waktu 1 jam sebelum digunakan sebagai material dalam pembuatan mortar beton. Bubuk cangkang telur ayam dipanaskan dengan suhu tinggi yakni 900°C agar kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang ada di dalam cangkang telur bisa terdekomposisi menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO_2). Hasil Studi menunjukkan bahwa pada suhu antara 850°C - 870°C , reaksi dekomposisi CaCO_3 terjadi sangat cepat (Halikia, 2001). Dengan terdekomposisinya kalsium karbonat (CaCO_3) maka gas karbon dioksida (CO_2) akan terlepas dan meninggalkan molekul kalsium oksida (CaO) sehingga bubuk cangkang telur ayam memiliki kandungan zat yang sama dengan semen. Waktu yang diperlukan untuk melakukan pemanasan pada bubuk cangkang telur ayam yakni 1 jam. Hasil studi menunjukkan bahwa pemanasan pada suhu 871°C dilakukan selama 1 jam agar terjadi dekomposisi CaCO_3 yang sempurna (Isabel, Fredrik, Carmen, 2013).

Pada penelitian sebelumnya dilakukan penelitian tentang cangkang telur ayam sebagai bahan substitusi parsial semen yang dihaluskan dan dipanaskan dalam suhu 105°C dalam 24 jam sebanyak 5%, 10%, 15%, dan 20%. Namun hasilnya menunjukkan peningkatan hanya pada umur 7 hari dan seiring bertambahnya umur mortar beton, terjadi penurunan pada kenaikan kuat tekannya bila dibandingkan dengan *control* yang hanya mengandung semen saja seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Perbandingan Kuat Tekan Mortar Beton dengan Variasi Persentase Cangkang Telur Ayam
Sumber: Al-Safy (2015)

Pada penelitian sebelumnya juga dilakukan penelitian tentang cangkang telur ayam sebagai bahan substitusi parsial semen yang dihaluskan dan dipanaskan dalam suhu 105°C dalam 24 jam sebanyak 0.1%, 0.5%, 1%, 1.5% dan 2% dan hasilnya menunjukkan penurunan durasi *setting time* itu sendiri seiring bertambahnya persentase cangkang telur ayam. Hasil penelitian disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Setting Time
Sumber: Ujin, Ali, Harith (2016)

Penambahan CaO pada semen dengan jumlah yang lebih tinggi mengakibatkan kandungan senyawa $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ di dalam semen meningkat sehingga kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen ketika semen bereaksi dengan air bertambah pula. Semakin banyaknya kalsium hidroksida yang terbentuk, maka daya rekat semen akan berkurang sehingga struktur di dalamnya akan lemah dan mengakibatkan kuat tekannya rendah (Darmawan, 2008). Dengan berkurangnya senyawa silikat karena bertambahnya bubuk cangkang telur ayam ini menyebabkan ketidakseimbangan yang terjadi pada campuran beton. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan *fly ash* yang mengandung silikat. Hingga saat ini sudah banyak penelitian yang mencoba kadar *fly ash* dalam berbagai persentase. Tetapi di dalam penerapannya, kadar *fly ash* yang tinggi sebagai bahan substitusi ternyata tidak efektif, maka dari itu penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi dibatasi. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan kandungan optimal *fly ash* sebagai bahan substitusi semen adalah 9% di mana dapat meningkatkan kuat tekan beton yang lebih tinggi pada umur 56 hari dari beton normal (Sebayang, 2010). Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan substitusi parsial semen dengan cangkang telur ayam dengan kadar 5% - 20% dan *fly ash* dengan kadar 10%.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan sampel berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Sampel yang digunakan berupa mortar beton. Terdapat 4 macam pengujian, yaitu, *compression strength*, *setting time*, *flow table* dan *water absorption*. Pada penelitian ini digunakan ratio semen dan air sebesar 0.4, untuk semua *sample*. Untuk

semen dan pasir menggunakan perbandingan 1:2 untuk semua sampel. Semen yang digunakan merupakan *Portland Composite Cement*, air menggunakan yang ada di Laboratorium Beton Universitas Kristen Petra Surabaya, pasir menggunakan pasir Lumajang dengan diameter < 5mm, *fly ash* menggunakan tipe F yang diambil dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur, Indonesia, dan untuk cangkang telur ayam diperoleh dari pasar dan toko roti. Cangkang telur ayam yang diperoleh akan dihaluskan dengan menggunakan *blender* atau *grinder*. Cangkang telur ayam yang sudah halus kemudian diayak pada ayakan yang berdiameter 0.075 mm. Cangkang telur ayam yang sudah diayak lalu dipanaskan pada suhu 900°C selama 1 jam di dalam *furnace*. Suhu akan dinaikkan hingga mencapai suhu 900°C, lalu ditahan selama 1 jam. Cangkang telur ayam yang sudah dipanaskan akan digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen pada penelitian ini. Pada penelitian ini terbagi menjadi 6 macam *mix design* dengan 9 benda uji tiap *mix design*. Komposisi *mix design* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Komposisi Mix Design

Mix No.	Semen	Pasir	Fly Ash Tipe F	Cangkang Telur Ayam		Air (w/b 0.4)
	g	g	g	g	%	ml
1	100	200	10	0	0	40
2	90	200	10	0	0	40
3	85	200	10	5	5	40
4	80	200	10	10	10	40
5	75	200	10	15	15	40
6	70	200	10	20	20	40

Untuk mix nomor 1 dan 2 dijadikan sebagai mortar beton *control*. Untuk mix nomor 1 akan disebut sebagai mortar beton *control 1* dan mix nomor 2 akan disebut sebagai mortar beton *control 2*.

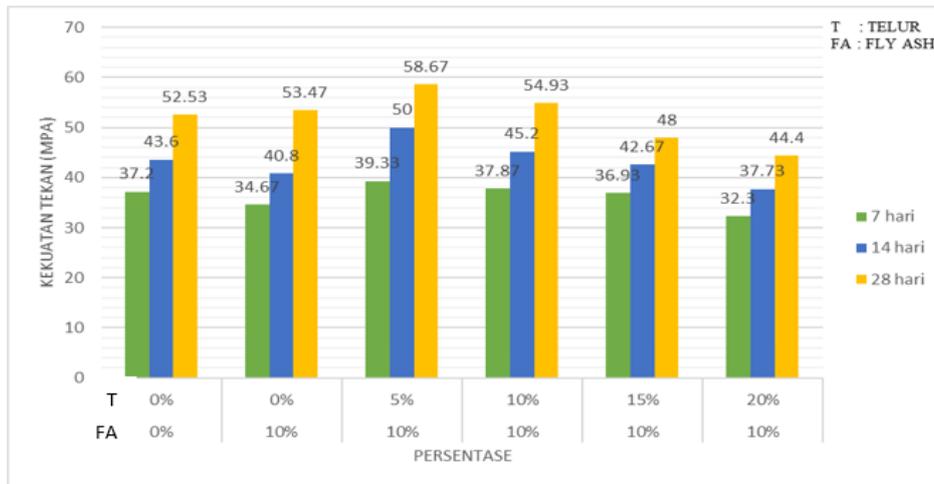
Tahap awal penelitian ini dimulai dari pengujian *flow table* mengacu pada ASTM C1437-07 (2007) yang bertujuan untuk mengetahui kelecakan dari campuran mortar beton sebelum dicetak. Benda uji yang telah diuji *flow table* akan dilakukan pengujian *compression strength* mengacu pada ASTM C109M-02 (2007) yang bertujuan untuk mengetahui kuat tekan mortar pada umur 7, 14 dan 28 hari. Tahap selanjutnya adalah pengujian *setting time* mengacu pada ASTM C403M-99 (1999) yang bertujuan untuk mengetahui waktu *setting* dari pasta. Setelah itu, dilakukan pengujian *water absorption* mengacu pada ASTM C140-05 (2005) yang bertujuan untuk mengetahui daya serap relatif air oleh karakteristik kapiler, pengujian ini dilakukan pada mortar beton berumur 28 hari yang telah di *curing* dan di oven untuk mengetahui berat jenuh dan berat keringnya.

4. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian mengenai pengaruh substitusi parsial semen dengan cangkang telur ayam dan *fly ash* terhadap karakteristik mortar beton, dilakukan uji kuat tekan (*compression strength*), *setting time*, *flow table (workability)* dan *water absorption*. Pada penelitian ini terdapat 2 variabel *control* yaitu mortar beton *control 1* (kadar cangkang telur ayam 0% dan *fly ash* 0%) dan mortar beton *control 2* (kadar cangkang telur ayam 0% dan *fly ash* 10%).

4.1. Compression Strength

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari dapat dilihat pada **Gambar 3**.

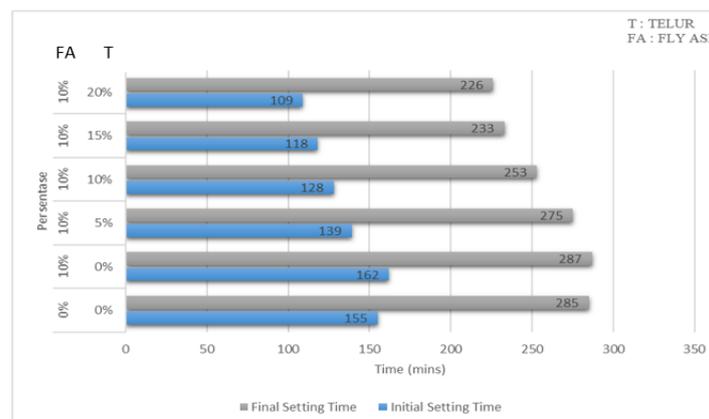


Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata Mortar Beton

Pada **Gambar 3** dapat diketahui bahwa mortar beton *control 2* memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah daripada mortar beton *control 1* dikarenakan adanya *fly ash* yang mengakibatkan kadar bahan pozzolanik menjadi lebih tinggi sehingga memperlambat panas hidrasi. Tetapi pada umur 28 hari, kuat tekan mortar beton tersebut menunjukkan peningkatan kuat tekan yang lebih besar karena reaksi antara senyawa kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan senyawa silika yang ada pada *fly ash* berlangsung lambat sehingga terbentuk ikatan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang lebih lama. Untuk mortar beton dengan kadar cangkang telur ayam 5% dan *fly ash* 10%, dan dengan kadar cangkang telur ayam 10% dan *fly ash* 10% memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada mortar beton *control 1* dan mortar beton *control 2*. Hal itu disebabkan adanya proses pengikatan yang baik dan tepat antara kalsium oksida (CaO) dan silikat (SiO_2) menjadi ikatan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berperan penting dalam proses peningkatan kuat tekan dalam campuran mortar beton. Sedangkan mortar beton dengan kandungan cangkang telur ayam 20% dan *fly ash* 10% memiliki kuat tekan yang lebih rendah daripada mortar beton *control 1* dan mortar beton *control 2* dikarenakan kadar kalsium oksida (CaO) pada cangkang telur yang berlebih akan bereaksi dengan air dan saat proses hidrasi hanya membentuk zat kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Zat kalsium hidroksida yang berlebih tidak bereaksi dengan silikat (SiO_2) sehingga ikatan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berperan dalam proses perkembangan kuat tekan mortar beton tidak terbentuk sempurna.

4.2. Setting Time

Pada pengujian *setting time*, diperoleh waktu pengikatan awal (*initial*) dan akhir (*final*). Hasil pengujian *setting time* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

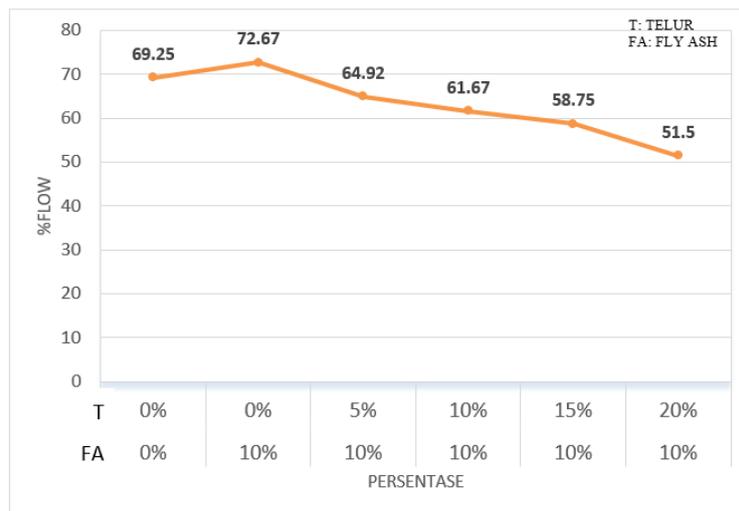


Gambar 4. Grafik Hasil Uji Setting Time

Dari **Gambar 4** dapat disimpulkan bahwa pasta *control 2* memiliki durasi *initial setting time* dan *final setting time* lebih lama bila dibandingkan dengan pasta *control 1* dikarenakan kandungan silikat (SiO_2) meningkat akibat pemberian *fly ash*, sehingga proses panas hidrasi berjalan lebih lambat. Namun, mortar beton dengan cangkang telur 20% memiliki waktu pengikatan paling cepat. Hal ini dapat terjadi karena kandungan kalsium oksida (CaO) semakin banyak. Sifat kalsium oksida yang bersifat *accelerator* dalam proses hidrasi dapat mengurangi durasi *setting time*.

4.3. Flow Table

Pengujian *flow table* yang dilakukan dapat menunjukkan hubungan antara kadar cangkang telur ayam dan *fly ash* dengan % *flow* mortar beton. Grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**.

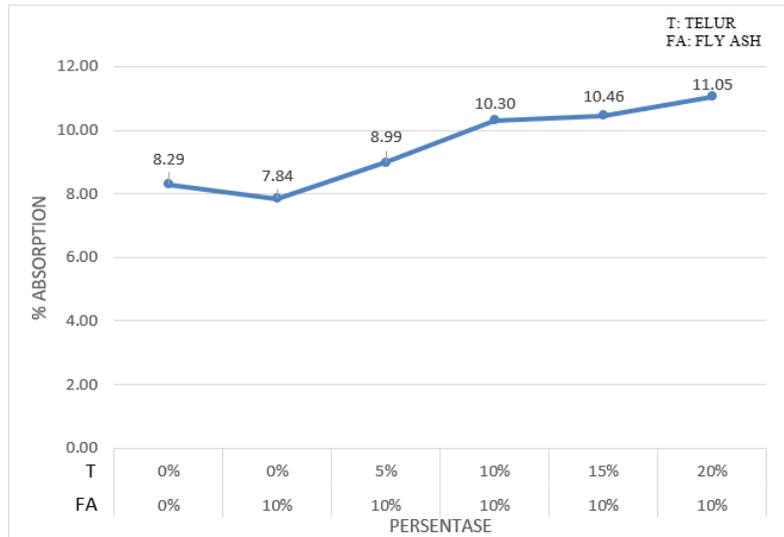


Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Kadar Cangkang Telur Ayam serta Fly Ash dengan % Flow

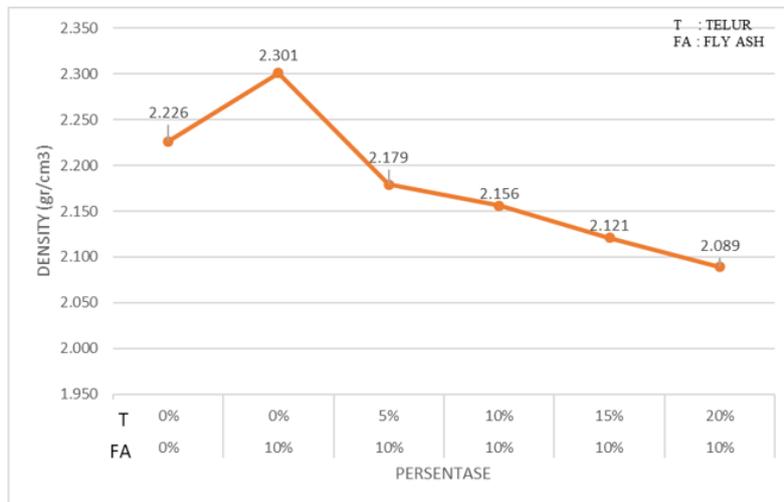
Pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa semakin banyak kadar cangkang telur ayam dan *fly ash* maka *workability*/kelecekan cenderung semakin menurun. Namun, kelecekan mortar beton *control 1* ke mortar beton *control 2* mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan adanya *fly ash* yang memiliki butiran yang berukuran kecil dan halus (10-15 mikron) dan memiliki partikel yang sebagian besar berbentuk bola sehingga dapat menghasilkan *workability* yang lebih baik. Jika dilihat pada mortar beton dengan kadar cangkang telur 5% dan *fly ash* 10% dan seterusnya, persentase flow menjadi semakin rendah. Hal ini dapat terjadi karena bertambahnya kadar cangkang telur yang dapat menyebabkan adonan mortar beton menjadi semakin padat. Selain itu, ukuran bubuk cangkang telur ayam yang lebih besar akan membuat gesekan antar butiran menjadi lebih besar sehingga dapat menurunkan *workability* pada mortar beton.

4.4. Water Absorption

Untuk pengujian *water absorption* didapatkan dari perbandingan antara berat benda uji saat keadaan jenuh dengan berat benda uji kubus $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ saat keadaan kering. Dari hasil pengujian, dapat diperoleh hubungan antara kadar cangkang telur ayam serta *fly ash* dengan % *absorption* mortar beton. Grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Kadar Cangkang Telur Ayam serta Fly Ash dengan % Absorption



Gambar 7. Grafik Density Mortar Beton

Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa pada mortar beton *control 2* memiliki % *absorption* yang paling rendah bila dibandingkan dengan mortar beton lainnya. Hal ini disebabkan karena butiran *fly ash* lebih halus daripada semen sehingga mampu mengisi pori-pori yang lebih kecil. Ukuran butiran *fly ash* yaitu sekitar 10-15 mikron sedangkan ukuran butiran semen yaitu 30-40 mikron. Dengan demikian, penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *density* dari mortar beton. Nilai *density* yang meningkat pada mortar beton *control 2* (kadar cangkang telur ayam 0% dan *fly ash* 10%) telah ditunjukkan pada Gambar 7. *Density* yang meningkat tersebut akan membuat *permeability* mortar beton akan berkurang sehingga dapat mencegah penyerapan air yang berlebih. Sedangkan pada mortar beton yang memiliki kadar cangkang telur ayam mulai dari 5% hingga 20% dan kadar *fly ash* 10% menghasilkan nilai % *absorption* yang semakin besar bila dibandingkan dengan mortar beton *control 1* (kadar cangkang telur ayam 0% dan *fly ash* 0%) dan mortar beton *control 2* (kadar cangkang telur ayam 0% dan *fly ash* 10%). Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak kadar cangkang telur ayam yang dicampurkan ke dalam mortar beton, maka penyerapan air akan meningkat. Penyerapan air yang meningkat ini disebabkan karena butiran bubuk cangkang telur ayam memiliki ukuran yang lebih besar daripada semen yaitu sekitar 75 mikron sehingga menyebabkan adanya pori - pori kecil yang tidak terisi. Pori - pori yang tidak terisi tersebut akan menyebabkan *density* mortar beton akan menurun sehingga penyerapan air yang terjadi

akan lebih banyak. *Density* mortar beton yang menurun seiring bertambahnya kadar cangkang telur ayam dapat dilihat pada **Gambar 7**.

5. KESIMPULAN

1. Semakin banyak kadar cangkang telur ayam yang digunakan akan mempercepat *setting time*. Pada mortar beton dengan kadar cangkang telur ayam 20% dan *fly ash* 10% memiliki *setting time* lebih cepat. Durasi *setting time* lebih cepat dikarenakan kandungan kalsium oksida pada cangkang telur ayam dapat mempercepat reaksi panas hidrasi.
2. Semakin banyak kadar cangkang telur ayam yang digunakan akan menurunkan % *flow* atau *workability* adonan mortar. Pada mortar beton dengan kadar cangkang telur ayam 20% dan *fly ash* 10% memiliki % *flow* paling rendah. Butiran cangkang telur ayam yang lebih besar menyebabkan gesekan antar butiran lebih besar sehingga dapat menurunkan *workability*.
3. Penggunaan kadar cangkang telur ayam 5% dan *fly ash* 10% dapat meningkatkan kuat tekan mortar beton cukup signifikan karena terjadi proses reaksi yang baik dan tepat antara kalsium hidroksida (CaO) dari cangkang telur ayam dan silika (SiO₂) dari *fly ash* menjadi ikatan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berperan dalam meningkatkan kekuatan tekan dalam campuran mortar beton.
4. Semakin banyak penambahan kadar cangkang telur ayam pada mortar beton, maka semakin banyak pula penyerapan air pada mortar beton. Pada mortar beton dengan kadar cangkang telur ayam 20% dan *fly ash* 10% memiliki % *absorption* paling tinggi karena terdapat pori-pori yang belum terisi dan menurunkan *density* sehingga dapat meningkatkan *permeability*.

6. DAFTAR REFERENSI

- Al-Safy, R. (2015). "Experimental Investigation of Properties of Cement Mortar Incorporating Eggshell Powder." *Journal of Engineering and Development*, 19(6).
- ASTM C109M-02. (2007). "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars." *Annual Book of ASTM Standards*, 4, 1-6.
- ASTM C403M-99. (1999). "Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance." *Annual Book of ASTM Standards*, 4, 1-6.
- ASTM C140-05. (2005). "Standard Test Method for Rate of Water Absorption of Masonry Mortars." *Annual Book of ASTM Standards*, 1-17.
- ASTM C1437-07. (2007). "Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar." *Annual Book of ASTM Standards*, 1-2.
- Darmawan, A., Hastuti, R., Reni, Y. (2008). *Kajian Pengaruh Penambahan Kalsium Oksida (CaO) terhadap Suhu Reaksi dan Kuat Tekan Semen Portland*. Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Diponegoro, Semarang.
- Halikia, I., Zoumpoulakis, L., Christoudoulou, E., & Prattis, D. (2001). "Kinetic Study of the Thermal Decomposition of Calcium Carbonate by Isothermal Methods of Analysis." *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, 1(2), 1303-0868, pp. 89-102.
- Isabel, G., Fredrik, P., Carmen, A. (2013). "Calcium Carbonate Decomposition." *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry*, 111(2), pp. 1197-1202.
- Pliya, P., Cree, D. (2015). "Limestone Derived Eggshell Powder as a Replacement in Portland Cement Mortar." *Construction and Building Materials*, 95(5), pp. 1-9.
- Sebayang, S. (2010). "Pengaruh Kadar Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen Pada Beton Alir Mutu Tinggi." *Jurnal Penelitian Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 14(1), 39-46.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ujin, F., Ali, K. S., & Harith, Z. Y. H. (2016). "Viability of Eggshells Ash Affecting the Setting Time of Cement." *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 10(3).