

DURABILITAS JANGKA PANJANG MORTAR 100% FLY ASH TIPE C DI LINGKUNGAN SULFAT

Kevin Guyana¹, Djwantoro Hardjito², Antoni³

ABSTRAK : Sejauh ini hampir belum ada penelitian tentang karakteristik dan durabilitas jangka panjang mortar dengan material pengikat 100% *fly ash* tipe C. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kuat tekan dan sudut mortar 100% *fly ash* dan ketahanannya di lingkungan sulfat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, mortar dengan 100% *fly ash* memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan mortar 100% semen di lingkungan sulfat hingga waktu 365 hari. Selain itu mortar 100% *fly ash* memiliki kuat tekan yang cukup baik, sebesar 78,4% dari kuat tekan mortar 100% semen pada umur 365 hari. Lebih dari itu, penyusutan yang terjadi pada mortar 100% *fly ash* ternyata lebih kecil dari mortar dengan 100% semen.

KATA KUNCI : 100% *fly ash*, *sulphate resistance*, mortar, boraks, kalsium hidroksida, kuat tekan, penyusutan.

1. PENDAHULUAN

Fly Ash (FA) adalah sisa pembakaran batu bara yang berasal dari pembangkit tenaga listrik, bersifat *pozzolan* sehingga dapat digunakan sebagai campuran mineral dalam beton. Pada HVFAC (*High Volume Fly Ash Concrete*) biasanya 50% - 60% *fly ash* digunakan untuk menggantikan semen dan meningkatkan *sustainability* beton itu sendiri (Wang & Park, 2015). Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen dalam campuran beton juga dapat meningkatkan *workability*, mereduksi *bleeding*, mereduksi kenaikan temperatur pada beton keras, mereduksi susut, dan juga meningkatkan durabilitas (Rivera, Martinez, Castro, & Lopez, 2015). Kekuatan beton dianggap menjadi salah satu sifat terpenting dalam daya tahan struktur beton. Telah teridentifikasi bahwa serangan sulfat merupakan penyebab utama terjadinya penurunan kekuatan pada beton (Umoh & Olusola, 2014). Pada penelitian terdahulu didapatkan bahwa mortar 100% *fly ash* memiliki ketahanan yang lebih baik dari mortar tanpa *fly ash* bila dilihat dari kemampuan mortar untuk mempertahankan bentuknya pada lingkungan asam yang memiliki pH $1 \pm 0,1$, karena sifat *pozzolan* yang dimiliki oleh material *fly ash* (Renaldo, Antoni, & Hardjito, 2017). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang ketahanan mortar 100% *fly ash* dan mortar tanpa *fly ash* di lingkungan sulfat. Faktor penting dalam penggunaan beton yaitu mengenai kekuatan tekan beton pada bangunan. Penyusutan dan serangan sulfat juga menjadi faktor penting pada penggunaan beton karena kedua hal tersebut dapat menyebabkan retak serta korosi yang menyebabkan kekuatan tekan beton menurun.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, k.guyana@yahoo.com

²Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

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

2. STUDI LITERATUR

2.1 Fly Ash

Fly ash (FA) merupakan material yang menyerupai *portland cement* baik dari segi kimiawi maupun fisik. *Fly ash* merupakan produk yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga termal dan diterima baik sebagai material pozzolan yang dapat digunakan sebagai bahan campuran beton (Chousidis, Rakanta, Ioannou, & Batis, 2015).

Fly ash digolongkan menjadi 2 tipe, yaitu *fly ash* kelas C dan kelas F. *Fly ash* kelas C merupakan hasil dari pembakaran batu bara sub-bitumen yang mengandung lebih dari 10% CaO (kalsium oksida). *Fly ash* kelas C juga disebut sebagai *high calcium fly ash* (HCFA). *Fly ash* kelas C bersifat *pozzolanic* dan *cementitious* karena memiliki kadar CaO yang tinggi (Roskos, Cross, Berry, & Stephens, 2011).

2.2 Sodium Sulphate

Sodium sulfat (Na_2SO_4) biasanya dapat ditemukan di dalam kandungan air laut. Kandungan ini dapat menyebabkan kerusakan pada beton pada jangka waktu yang lama. Banyak contoh kasus serangan sulfat yang terjadi pada struktur beton di daerah sekitar laut. Lingkungan laut tergolong ekstrim karena air laut memiliki kandungan seperti klorida dan sulfat. Sulfat yang terdapat dalam air laut ini sebagian besar merupakan sodium sulfat ataupun magnesium sulfat. Kandungan ini dapat merusak beton dan menurunkan daya tahan beton, sehingga perlu penanganan yang baik untuk struktur di daerah sekitar laut, seperti jembatan, dermaga, terowongan dll (Maes & Belie, 2014).

3. RANCANGAN PENELITIAN

3.1 Material

Fly ash yang digunakan adalah *fly ash* tipe C yang berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo. *Fly ash* yang dipakai memiliki kandungan CaO yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton 100% *fly ash*. Untuk tingkat kehalusan, *fly ash* ini tertahan pada ayakan #325 ($44\mu\text{m}$) sebesar 12%. Daftar material yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Material yang Digunakan

Nama Material	Keterangan
<i>Fly Ash</i>	PLTU Paiton, Probolinggo
Semen	Semen Gresik
Pasir	Pasir Lumajang
Kalsium Hidroksida	Brataco
<i>Superplasticizer</i>	Sika ViscoCrete -1003
Boraks	Sodium Tetraborate 10-hydrate

3.2 Langkah Pembuatan Mortar

Pertama-tama, material, bahan kimia, dan peralatan yang dibutuhkan sesuai *mix design* disiapkan. Kemudian, boraks dilarutkan terlebih dahulu hingga boraks larut dalam air. Lalu agregat halus pasir, *fly ash*, dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dicampur dan diaduk hingga merata di dalam ember. Setelah campuran merata, air *aquades* dituangkan sedikit demi sedikit ke dalam campuran sambil dilakukan pengadukan dengan menggunakan *mixer*, lalu *superplasticizer* (SP) juga dituangkan sedikit demi sedikit dan kemudian diaduk hingga SP bereaksi, dan kelecakan mortar mencapai diameter *flow* 15 – 16 cm. Setelah hasil *flow test* sudah cukup memenuhi, mortar dimasukkan ke dalam bekisting sebanyak 1/3 tinggi bekisting dan dirojok sebanyak 25 kali, lalu dimasukkan lagi hingga mencapai 2/3 tinggi bekisting dan dirojok kembali sebanyak 25 kali. Setelah itu, bekisting diisi hingga penuh dan diratakan, kemudian digetarkan dengan cara diketuk menggunakan palu sebagai pengganti *vibrator*, agar udara yang berada di dalam mortar keluar. Permukaan

mortar kemudian diratakan. Kemudian didiamkan selama 3 hari hingga akhirnya bekisting dilepas secara perlahan agar permukaan benda uji halus dan mortar tidak mengalami retak. Kemudian *curing* dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam air kolam hingga umur mortar mencapai 28, 180, dan 365 hari

3.3 Mix Design

Mix design beserta komposisi mortar yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Mix Design dan Komposisi Mortar

Kombinasi	FA (gr)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Ca(OH) ₂ (gr)	Air (gr)	SP (%)	Boraks (gr)
CH7,5 B1,2	277,5	0	600	22,5	69	0,53%	3,6
CH7,5 B1,5	277,5	0	600	22,5	69	0,53%	4,5
CH10 B1,5	270	0	600	30	69	1%	4,5
Semen	0	300	600	0	69	4%	0

3.4 Pengujian Sampel

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu kuat tekan, ketahanan di lingkungan sulfat dan penyusutan pada mortar. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 180, dan 365 hari dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine*, pengujian *sulphate resistance* dilakukan dengan menimbang berat sampel menggunakan timbangan tiap minggunya dan dilakukan juga uji kuat tekan pada umur 28, 180 dan 365 hari. Pengukuran penyusutan dilakukan dengan menggunakan *Micrometer Gauge* tiap minggunya.

4 HASIL DAN ANALISA

4.1 Analisa Kebutuhan Mortar Segar (Menentukan Kebutuhan SP)

Campuran mortar pada penelitian ini menggunakan air seminimal mungkin yaitu w/cm sebesar 0,23 sehingga dibutuhkan penambahan *superplasticizer* (SP) untuk meningkatkan *workability* dan mencegah terjadinya retak pada mortar. Penambahan SP dilakukan hingga diameter *flow* mortar segar berkisar antara 15-16 cm. Kebutuhan SP dan *flow* pada setiap *mix design* dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kebutuhan SP dan Flow untuk Setiap Mix Design

<i>Mix Design</i>	<i>Flow</i> (cm)	SP (%)
CH7,5B1,2	16,00	0,53%
CH7,5B1,5	16,00	0,53%
CH10B1,5	16,00	1%
Cement	15,00	4%

4.2 Analisa Pengujian Kuat Tekan Mortar 100% Fly Ash

Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap benda uji berukuran 5cm x 5cm x 5cm dengan menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* pada umur 180, dan 365 hari. Pengujian ini menganalisa kekuatan tekan mortar untuk jangka waktu yang panjang serta menganalisa pengaruh kalsium hidroksida dan boraks pada kekuatan tekan mortar dengan mengikuti standar pengujian kekuatan tekan mortar ASTM C-109. Hasil pengujian kuat tekan mortar dapat dilihat pada **Tabel 4**.

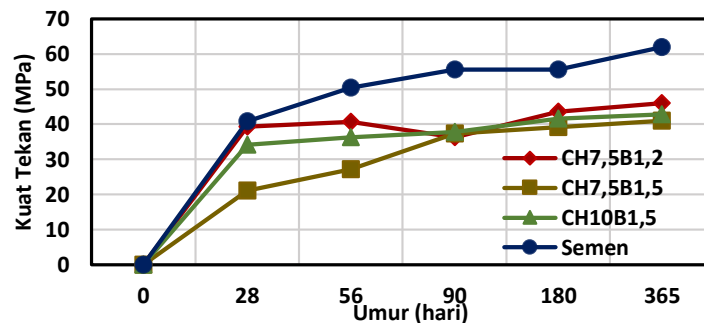
Dari **Gambar 1** dapat dilihat bahwa penambahan boraks pada campuran mortar dapat meningkatkan kekuatan tekan mortar tetapi hanya sampai dengan penambahan boraks sebesar 1,2% dari total *fly ash*, kemudian ketika penambahan boraks melebihi 1,2% maka kuat tekan mortar menurun seperti yang telah dibahas juga pada penelitian sebelumnya. Dengan bertambahnya umur, kekuatan kuat tekan mortar terus meningkat kecuali pada mortar CH7,5B1,2 pada umur 90 hari, tetapi pada umur setelahnya yaitu umur 180

dan 365 hari kuat tekannya kembali meningkat. Secara keseluruhan, kuat tekan tertinggi untuk mortar dengan campuran 100% *fly ash* diperoleh mortar CH7,5B1,2 yaitu sebesar 46 MPa pada umur 365 hari. **Gambar 2** menunjukkan kondisi sebelum dan sesudah pengujian kuat tekan mortar.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Mix Design	Kuat Tekan Mortar									
	Umur 28 hari (*)		Umur 56 hari (*)		Umur 90 hari (*)		Umur 180 hari		Umur 365 hari	
	Mpa	%	Mpa	%	Mpa	%	Mpa	%	Mpa	%
CH7,5B1,2	39,3	96,1	40,64	81,0	36,33	65,4	43,6	78,4	46,0	74,2
CH7,5B1,5	21,1	51,6	27,11	54,0	37,3	67,1	39,2	70,5	41,2	66,4
CH10B1,5	34,13	83,4	36,33	72,0	37,78	68,0	41,6	74,8	42,8	69,0
Semen	40,9	100	50,44	100	55,55	100	55,6	100	62,0	100

(*) Penelitian Reynaldo, Antoni, & Hardjito, (2017)



Gambar 1. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Mortar



Gambar 2. Kondisi Mortar Sebelum dan Sesudah Pengujian Kuat Tekan

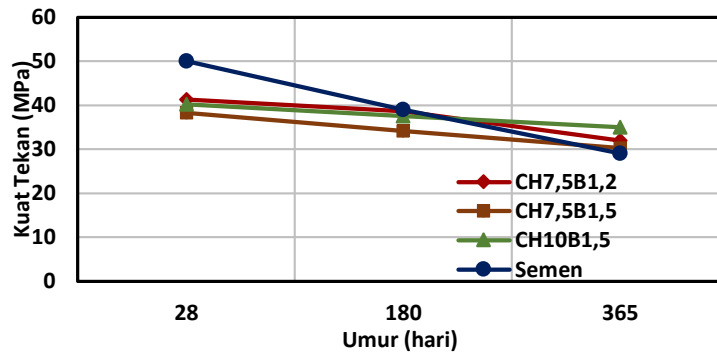
4.3 Analisa Pengujian Ketahanan Mortar 100% *Fly Ash* Di Lingkungan Sulfat

Pengujian ketahanan mortar 100% *fly ash* dilakukan dengan merendam benda uji yang berukuran 5 x 5 x 5 cm dalam larutan Na_2SO_4 dengan konsentrasi 50 g/L dan rentang pH 6.0 – 8.0 yang ditimbang tiap minggu untuk mengevaluasi penurunan berat mortar hingga umur pengujian kuat tekan yaitu 28, 180, 365 hari. Larutan diganti jika pH diluar 6.00 – 8.00. Prosedur pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *wet and dry cycle*, yaitu dilakukan dengan merendam 9 benda uji untuk tiap *mix design* selama 72 jam dan kemudian dilakukan pengeringan kembali dengan menggunakan oven dengan suhu 60°C selama 72 jam sampai dengan 365 hari yang sesuai dengan penelitian.

Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada **Tabel 5** dan grafik perbandingan kuat tekan dapat dilihat pada **Gambar 3**. Kuat tekan mortar 100% semen pada umur 365 hari mengalami penurunan hingga tinggal 58,4% dari hasil kuat tekan pada umur 28 hari sedangkan mortar 100% *fly ash* masih sebesar 87,43%.

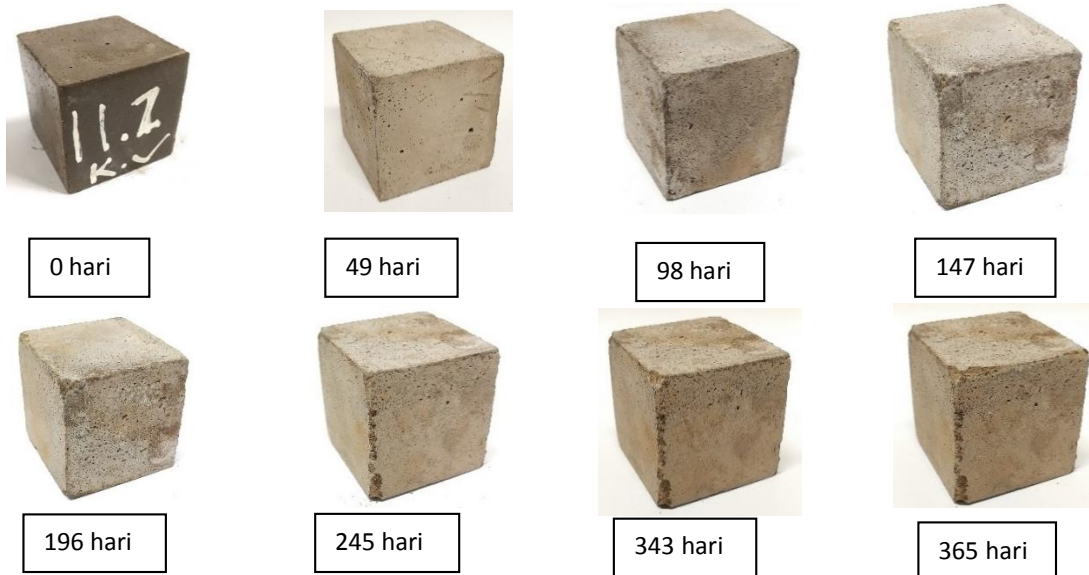
Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar yang Telah direndam Larutan Sulfat

Mix Design	Kuat Tekan Mortar					
	Umur 28 hari		Umur 180 hari		Umur 365 hari	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
CH7,5B1,2	41,26	100	38,6	93,6	32,0	77,56
CH7,5B1,5	38,26	100	34,2	89,4	30,4	79,46
CH10B1,5	40,26	100	37,6	93,4	35,2	87,43
Semen	50,0	100	39,2	78,4	29,2	58,4

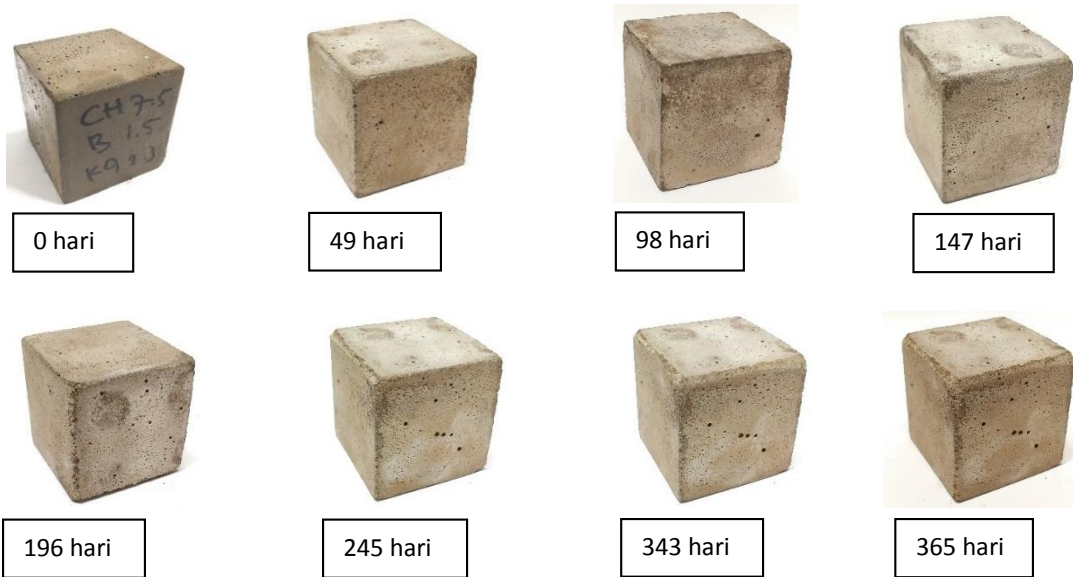


Gambar 3. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Mortar 100% Fly Ash dan Mortar Tanpa Fly Ash yang telah direndam Larutan Sulfat

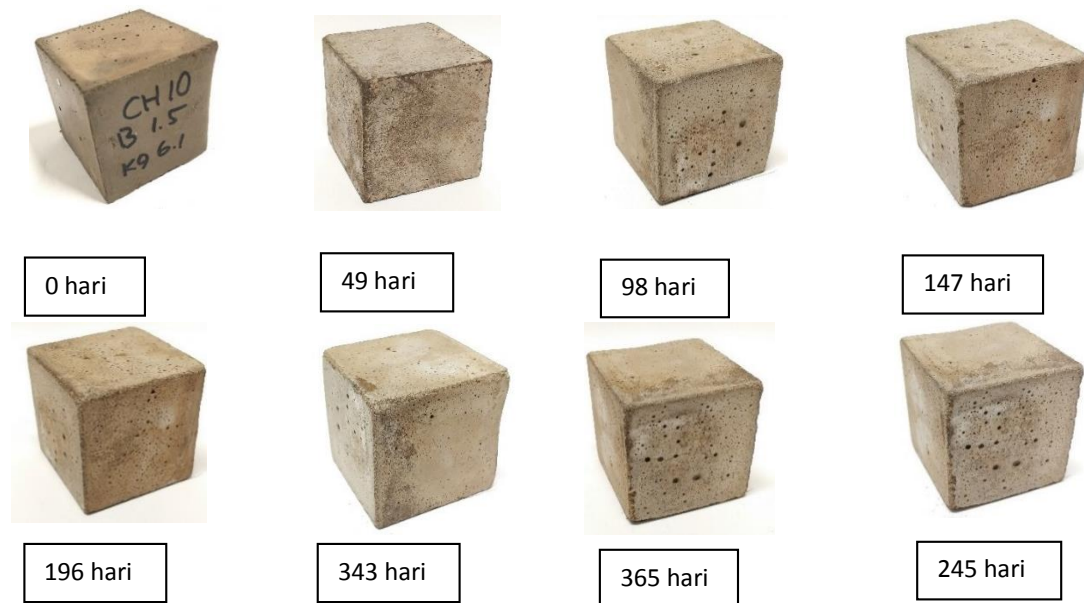
Perubahan bentuk pada mortar yang telah direndam larutan Na_2SO_4 dengan rentang pH 6.0 – 8.0 dapat dilihat berturut pada Gambar 4a, Gambar 4b, Gambar 4c, dan Gambar 4d. Mortar 100% fly ash lebih mampu mempertahankan bentuknya daripada mortar tanpa fly ash. Penurunan berat pada mortar setelah dilakukan perendaman pada larutan Na_2SO_4 dengan rentang pH 6.0 – 8.0 selama 365 hari dapat dilihat pada Gambar 5. Mortar 100% fly ash dapat mempertahankan beratnya lebih baik dibandingkan dengan mortar 100% semen jika dilihat dari penurunan berat yang terjadi.



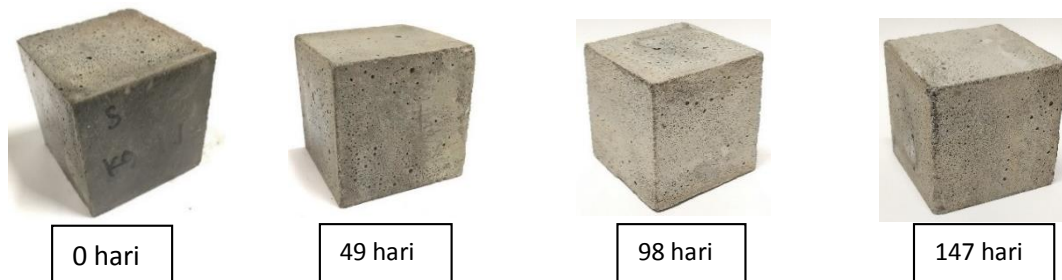
Gambar 4a. Perubahan Bentuk Mortar CH7,5B1,2



Gambar 4b. Perubahan Bentuk Mortar CH7,5B1,5

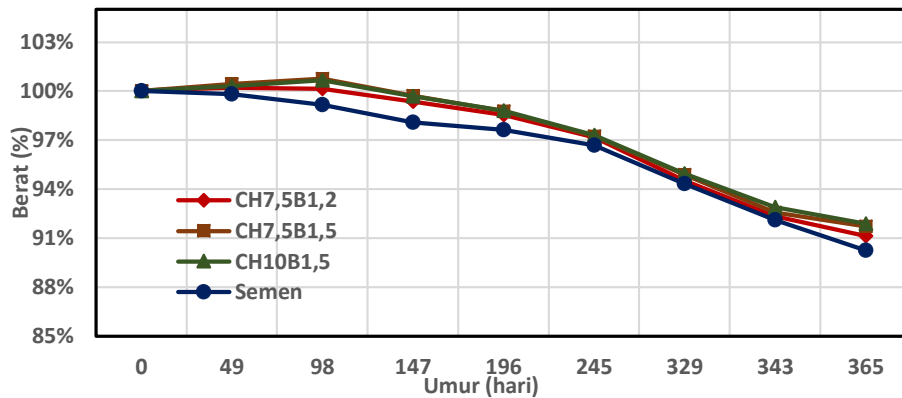


Gambar 4c. Perubahan Bentuk Mortar CH10B1,5





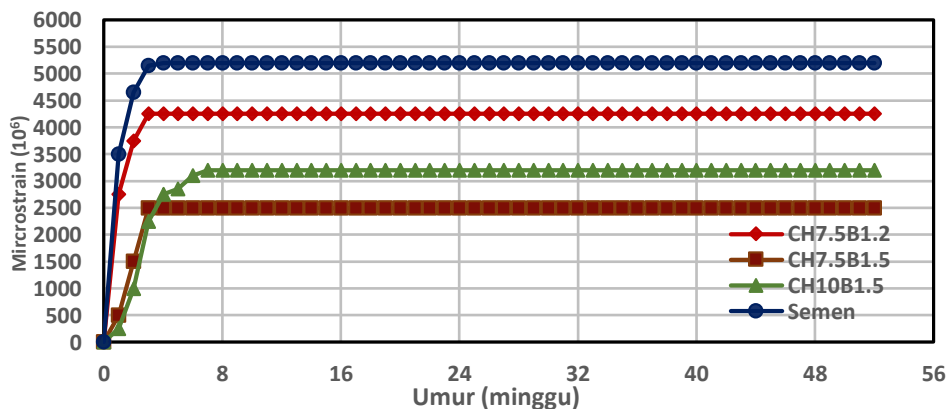
Gambar 4d. Perubahan Bentuk Mortar Semen



Gambar 5. Grafik Perbandingan Berat Mortar

4.4 Pengujian Penyusutan

Pengujian susut mortar 100% *fly ash* dan mortar tanpa *fly ash* dilakukan dengan mengukur benda uji berbentuk silinder dengan diameter 4 cm dan panjang 20 cm tiap minggunya pada alat *micrometer gauge* guna untuk mengukur perubahan panjang yang terjadi pada benda uji hingga umur 365 hari. Pengujian dilakukan di tempat yang jarang dijangkau oleh orang lain, dikarenakan pengukuran *shrinkage* sangat sensitif terhadap getaran yang dapat menyebabkan kesalahan pada pengukuran. Pengujian ini berdasarkan **ASTM 596-01**. Gambar 6 menunjukkan bahwa mortar 100% *fly ash* mengalami penyusutan yang lebih rendah dari mortar 100% semen. Atis & Sevim (2004) mengatakan bahwa semakin banyak kadar *fly ash* yang digunakan sebagai pengganti semen maka semakin rendah juga penyusutan yang terjadi. Oleh karena itu dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa *fly ash* dapat digunakan sebagai material dalam beton untuk mengurangi penyusutan.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Perubahan Panjang antara Mortar

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Kuat tekan mortar 100% *fly ash* jika dibandingkan dengan mortar konvensional dengan 100% semen cukup baik apabila melihat bahwa kekuatan tekannya yang paling tinggi dapat mencapai 78,4% dari kekuatan mortar 100% semen pada umur 90, 180, dan 365 hari. Kuat tekan mortar 100% *fly ash* terus mengalami peningkatan untuk jangka waktu 365 hari.
2. Ketahanan mortar 100% *fly ash* lebih baik dibandingkan mortar dengan 100% semen karena kemampuan mortar 100% *fly ash* yang dapat mempertahankan beratnya, mempertahankan bentuknya dan penurunan kuat tekan mortar yang cukup stabil, yaitu sebesar 87,43% pada hari ke 365 jika dibandingkan dengan mortar 100% semen yang penurunan kuat tekannya cukup besar, yaitu 58,4% pada hari ke 365 pada lingkungan sulfat yang memiliki rentang pH 6.00 – 8.00 dalam jangka waktu 365 hari.
3. Tingkat penyusutan pada mortar 100% *fly ash* lebih rendah dibandingkan dengan mortar konvensional yang hanya menggunakan semen sampai dengan umur 365 hari.

6 DAFTAR REFERENSI

- Atis, C. D., & Sevim, U. K. (2004). Strength and Shrinkage Properties of Mortar Containing a Nonstandard High-Calcium Fly Ash. *Cement and Concrete Research* 34, 34, 99–102. [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00247-3](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00247-3)
- ASTM C 109/C 109M – 02. (2000). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, 04, 1–6.
- ASTM C 596 – 01. (1971). Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement 1. *ASTM C 596 – 01*, 2(4), 11–13.
- Chousidis, N., Rakanta, E., Ioannou, I., & Batis, G. (2015). Mechanical Properties and Durability Performance of Reinforced Concrete Containing Fly Ash. *Construction and Building Materials*, 101, 810–817. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.127>
- Maes, M., & Belie, N. D. (2014). Cement & Concrete Composites Resistance of Concrete and Mortar Against Combined Attack of Chloride and Sodium Sulphate. *Cement and Concrete Composites*, 53, 59–72. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.013>
- Renaldo, R., Antoni, P., & Hardjito, D. (2017). Ketahanan di Lingkungan Asam, Kuat Tekan dan Penyusutan Beton Dengan 100% Fly Ash Tanpa Aktivator. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 1–7.
- Rivera, F., Martinez, P., Castro, J., & Lopez, M. (2015). Massive Volume Fly-ash Concrete: A More Sustainable Material With Fly Ash Replacing Cement and Aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 63, 104–112. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.08.001>
- Roskos, C., Cross, D., Berry, M., & Stephens, J. (2011). Identification and Verification of Self-cementing Fly Ash Binders for “green” Concrete. *Paper Presented at the NSF CMMI Grantees Conference*.
- Umoh, A. A., & Olusola, K. O. (2014). Performance of Periwinkle Shell Ash Blended Cement Concrete Exposed to Magnesium Sulphate. *Civil Engineering Dimension*, 15(2), 96–101. <http://doi.org/10.9744/ced.15.2.96-101>
- Wang, X.-Y., & Park, K.-B. (2015). Analysis of Compressive Strength Development of Concrete Containing High Volume Fly Ash. *Construction and Building Materials*, 98, 810–819. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.099>