

STUDI PENGARUH AIR LAUT PADA MORTAR BETON NORMAL DAN MORTAR BETON DENGAN *FLY ASH*

Mochammad Qomaruddin¹, Abda Rizka Nabella², Irene Sitohang² dan Han Ay Lie³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Nahdlatul Ulama,
Jl. Taman Siswa No. 9 Tahunan Jepara, Email: qomar@unisnu.ac.id

^{2,3}Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto SH., Tembalang, Semarang

Abstract: Fly ash is the residue of coal combustion in the form of grain which is transported by exhaust gas which can be used in the mortar and concrete manufacture. One of the main source of fly ash is the result of coal combustion at Tanjung Jati B power plant in Jepara. The purpose of this research is to observe fly ash-based mortar behavior toward compressive strength, flexural tensile strength, and absorption by substitution of cement with 20% fly ash percentage of mass ratio followed by immersion with freshwater and sea water taken from Jepara waters. this is used for the compressive strength of the cube 50 x 50 x 50 mm (ASTM C109 / C109M - 16), test specimens for testing the bending strength of 40 x 40 x 160 mm (ASTM C348 - 14), and 100 x 200 cylinders mm for observation of absorption behavior (ASTM C1585 - 13). Non-fly ash test specimens soaked in fresh water act as controls. Non-soaked seawater asphalt test subjects produce the highest compressive strength, but the specimens with freshwater-immersed fly ash show no higher yield. In contrast to the compressive strength results, the seawater-impregnated test specimens yield the lowest tensile strength, while the presence of fly ash in other test specimens has little effect. In the absorption test, the use of fly ash mortar with sea water bath resulted in increased velocity and absorption rate, whereas fly ash on specimens soaked in fresh water did not have a significant effect on the mortar absorption behavior.

Keywords: fly ash, mortar, sea water, fresh water

Abstrak: *Fly ash* adalah sisa hasil pembakaran batu bara berupa butir halus yang diangkut oleh gas buang yang dapat digunakan dalam pembuatan mortar dan beton. Salah satu sumber *fly ash* adalah hasil pembakaran batubara di PLTU Tanjung Jati B Jepara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati perilaku mortar berbasis *fly ash* terhadap kuat tekan, kuat tarik lentur, dan absorpsinya dengan melakukan substitusi semen dengan prosentase *fly ash* 20% dari perbandingan massa diikuti perendaman dengan air tawar dan air laut yang diambil dari perairan Jepara. Dalam penelitian ini digunakan benda uji untuk kuat tekan berupa kubus 50 x 50 x 50 mm (ASTM C109/C109M - 16), benda uji untuk pengujian kuat tarik lentur berbentuk balok 40 x 40 x 160 mm (ASTM C348 - 14), dan silinder 100 x 200 mm untuk pengamatan perilaku absorpsi (ASTM C1585 - 13). Benda uji tanpa *fly ash* yang direndam dengan air tawar bertindak sebagai benda uji kontrol. Benda uji tanpa *fly ash* yang direndam air laut menghasilkan kuat tekan tertinggi, tetapi benda uji dengan *fly ash* yang direndam air tawar tidak menunjukkan hasil yang lebih tinggi. Berbeda dengan hasil kuat tekan, benda uji tanpa *fly ash* yang direndam air laut menghasilkan kuat tarik lentur terendah, sedangkan keberadaan *fly ash* pada benda uji kategori lain memberikan dampak yang kecil. Dalam pengujian absorpsi, penggunaan mortar dengan *fly ash* dengan rendaman air laut mengakibatkan peningkatan kecepatan dan tingkat absorpsi, sedangkan *fly ash* pada benda uji yang direndam dengan air tawar tidak memberikan pengaruh yang berarti dalam perilaku absorpsi mortar.

Kata kunci: *fly ash*, mortar, air laut, air tawar

PENDAHULUAN

Limbah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Tanjung Jati B Jepara belum dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar secara maksimal. Padahal, *fly ash* dapat dimanfaatkan misalnya dalam konstruksi bangunan sebagai bahan ber-

basis semen, karena penggunaan *fly ash* dalam hal ini menguntungkan dalam pembuatan dan memberikan dampak yang baik bagi lingkungan (Chindaprasirt dan Rukzon, , 2007). Han, et. al. (2015) dalam artikelnya mengemukakan pendapat yang sama mengenai keuntungan penggunaan *fly ash* pada mortar. Proporsi *fly ash* pada campuran mortar perlu dianalisis terlebih

dahulu untuk menghasilkan komposisi yang tepat, sehingga didapatkan mortar dengan mutu yang diharapkan.

Dalam penelitian ini, *fly ash* dari PLTU Tanjung Jati B Jepara digunakan sebagai substitusi terhadap semen dalam pembuatan mortar, dengan prosentase 20% dari berat semen. Properti mortar yang akan diuji adalah kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsinya. Pada jangka panjang, mortar ini akan dimanfaatkan sebagai kolam ikan nila di daerah Jepara. Jepara yang secara geografis terletak di dekat laut memungkinkan pemakaian air laut dalam penelitian ini karena ikan nila dapat hidup dalam habitat tawar ataupun garam. Berkat kondisi alam Indonesia yang merupakan negara kepulauan, banyak dilakukan penelitian terhadap mortar dengan menggunakan air laut, termasuk pada penelitian ini. Air laut pada penelitian ini dipakai untuk merendam benda uji, selain menggunakan air tawar. Studi terdahulu membuktikan bahwa penggunaan air laut dalam pembuatan mortar dapat meningkatkan kuat tekan mortar (Pravallika and Laksmi, 2014; Ramachandra et al., 2017).

Dengan digunakannya *fly ash* pada mortar dan dilakukan perendaman dengan air tawar dan air laut setelah proses *curing*, muncul pertanyaan apakah akan terjadi pengaruh yang berarti dalam konstruksi mortar terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan absorpsinya, mengingat kadar garam pada air yang digunakan dalam konstruksi beton perlu dibatasi, dan melakukan substitusi semen dengan *fly ash* dengan prosentase tertentu akan memberikan hasil yang berbeda dengan mortar yang dicetak dengan 100% semen.

METODE PENELITIAN

Mortar yang diuji dikategorikan menjadi empat macam:

- mortar tanpa *fly ash* yang direndam dalam air tawar (NFAT)
- mortar tanpa *fly ash* yang direndam dalam air laut (NFAL)
- mortar dengan *fly ash* yang direndam dalam air tawar (FAT)
- mortar dengan *fly ash* yang direndam dalam air laut (FAL)

Dalam hal ini, mortar tanpa *fly ash* dalam air tawar (NFAT) berlaku sebagai benda uji kontrol

uji kuat tekan dan kuat tarik lentur. Mortar dibuat dengan proporsi massa 1 semen dan 2.75 pasir. Untuk mortar dengan *fly ash*, 20% berat semen disubstitusi dengan *fly ash*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, *fly ash* yang dipakai pada penelitian ini diambil dari PLTU Jati B Jepara dengan type F. Air laut yang digunakan diambil dari air laut Jepara dan digunakan saat perendaman benda uji. Saat proses *curing* semua kategori direndam dengan air tawar, sehingga dapat dikatakan bahwa semua benda uji kuat tekan dan kuat tarik lentur mendapat perlakuan yang sama sampai tahap pelaksanaan *curing*. Untuk benda uji absorpsi, terdapat prosedur tersendiri.

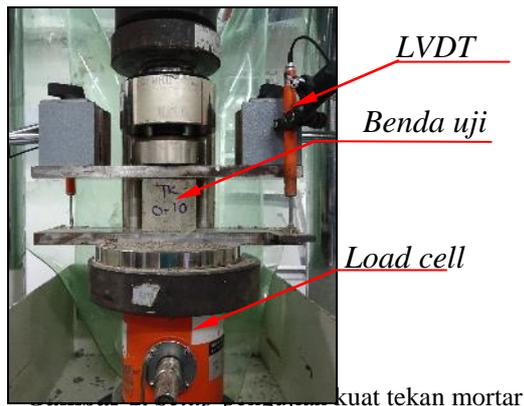
Ada tiga hal yang diuji dari mortar dalam penelitian ini, yaitu kuat tekan, kuat tarik lentur, dan absorpsi. Ketiga pengujian mengacu pada standarnya masing-masing; uji kuat tekan mengacu pada ASTM C109/C109M-16a, uji kuat tarik lentur pada ASTM C348 – 14, dan uji absorpsi mengacu pada ASTM C1585 – 13. Untuk pengujian kuat tekan dan kuat lentur, masing-masing dibuat 10 benda uji untuk tiap kategori, sedangkan pengujian absorpsi mortar menggunakan 3 benda uji di tiap kategorinya.

Kuat tekan mortar

Setelah mengalami *curing* selama 28 hari dan selanjutnya dilakukan perendaman dengan air tawar atau air laut (sesuai kategorinya) selama 30 hari, benda uji berukuran 50 x 50 x 50 mm diuji kuat tekannya dengan pemberian beban berkecepatan 1500 N/s. Data kuat tekan diperoleh dari hasil perekaman data pada *data logger* dan data deformasi diperoleh dari pembacaan LVDT. *Setup* pengujian terlihat pada Gambar 1. Kuat tekan tiap benda uji diperoleh dengan menggunakan Persamaan (1) sesuai dengan ASTM C109/C109M-16a.

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan f_m = kuat tekan (MPa), P = beban maksimum (N), A = luas bidang tekan (mm^2).



kuat tekan mortar

Kuat tarik lentur mortar

Benda uji untuk kuat tarik lentur dengan ukuran 40 x 40 x 160 mm diberi perlakuan yang sama seperti benda uji kuat tekan sebelum dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan metode *center point loading* (Gambar 2). Saat pengujian, mortar diberi beban dengan kecepatan 2750 N/s. Data kuat tarik lentur didapat dari hasil perekaman data pada *data logger*. Persamaan (2). menurut ASTM C348 – 14 digunakan untuk perhitungan kuat tarik lentur mortar

$$S_s = 0.0028P \quad (2)$$

dengan S_f = kuat tarik lentur (MPa), P = beban maksimum(N).



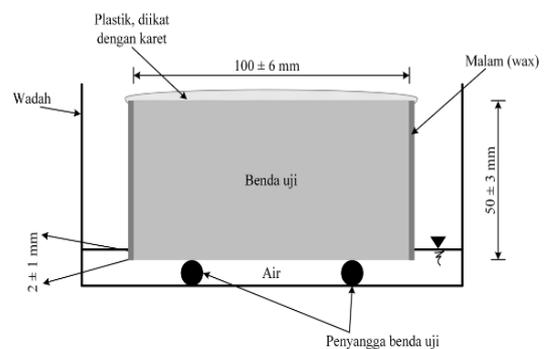
Gambar 2. Setup pengujian kuat lentur mortar dengan metode *center point loading*

Absorpsi Mortar

Benda uji yang digunakan untuk pengujian absorpsi ini berukuran 100 x 50 mm yang diperoleh dari pemotongan silinder berukuran 100 x 200 mm yang sebelumnya telah *dicuring* dan dikeringkan, menggunakan bor beton,. Setelah benda uji dipotong, benda uji terlebih dahulu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 50°C selama 3 hari, kemudian dirawat selama 15 hari dengan cara ditutup dengan karung basah. Pengujian dilakukan selama 10 hari sesuai dengan standar, dan dilakukan pencatatan berat benda uji sesuai dengan waktu yang ditentukan. Hasil akhir dari pengujian ini yaitu besarnya penyerapan benda uji dalam satuan panjang (mm), dengan perhitungan menggunakan Persamaan (3) dari ASTM C1585 – 13. Setup pengujian terlihat pada Gambar 3.

$$I = \frac{m_t}{a \cdot d} \quad (3)$$

dengan I = penyerapan (mm), m_t = perubahan berat benda terhadap waktu (g), a = luas benda uji yang terekspos air (mm²), d = berat jenis air (gr/mm³).

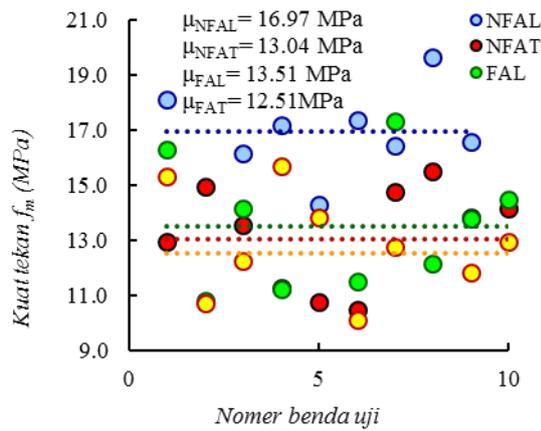


Gambar 3. Setup pengujian absorpsi mortar

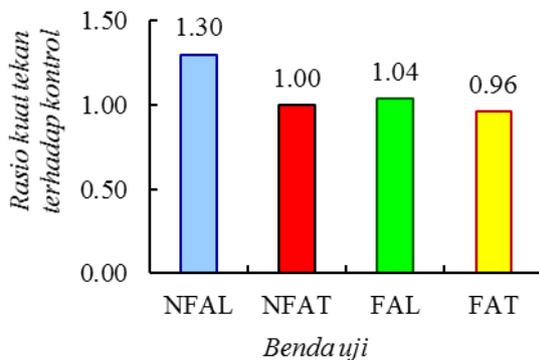
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tekan mortar

Hasil perekaman *data logger* dan LVDT masing-masing kategori benda uji diolah dan ditentukan nilai kuat tekan (f_m) menggunakan Persamaan (1). Untuk menilai validitas data, dilakukan analisa statistic sederhana dengan mengamati sebaran serta nilai rata-rata tiap kategori (Gambar 4a). Keempat kategori data dilakukan normalisasi terhadap benda uji NFAT yang merupakan benda uji kontrol (Gambar 4b).



Gambar 4a. Populasi dan rata-rata kuat tekan f_m



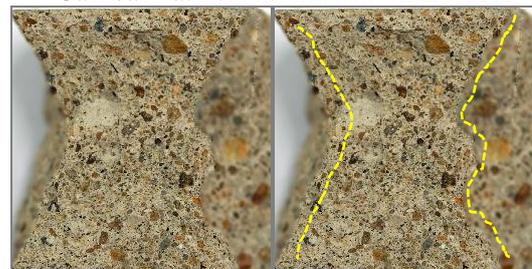
Gambar 4b. Rasio kuat tekan f_m terhadap benda uji kontrol (NFAT)

Gambar 4a) menunjukkan bahwa benda uji NFAL memiliki rata-rata kuat tekan yang jauh lebih tinggi daripada kategori lainnya. Peningkatan mencapai 30% terhadap benda uji kontrol NFAT yang direndam dalam air tawar. Benda uji FAT memiliki rata-rata kuat tekan yang lebih rendah dari benda uji kontrol tetapi nilai penurunan tidak begitu signifikan, begitu pula dengan benda uji FAL yang memiliki kenaikan terhadap NFAT, juga disini perbedaan yang terjadi tak besar. Dapat terlihat pada Gambar 4b) bahwa benda uji yang direndam air laut memiliki kuat tekan yang lebih baik daripada yang direndam dengan air tawar. Pada dasarnya *fly ash* meningkatkan *performance* mortar, namun karena reaksinya relatif lambat, pada usia 58 *fly ash* belum mencapai proses reaksi maksimal. *Fly ash* membutuhkan setidaknya 90 hari untuk mencapai kekuatan penuh, sehingga rendahnya respon tekan benda uji dengan *fly ash* cenderung disebabkan karena waktu reaksi yang belum tercapai penuh (Pravallika and Lakshmi, 2014). Secara prinsip kandungan SiO_2 yg tinggi dalam

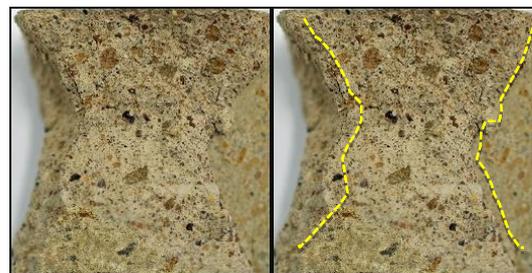
fly ash akan beraksi dg CaOH_2 , sisa reaksi hidrasi sekunder ini menghasilkan C-S-H (*Calcium Silicate Hydrate*) gel. Sisa reaksi CaOH_2 ini yang merupakan sumber masalah ketahanan (*durability*), sehingga penggunaan *fly ash* akan mempunyai nilai positif, meningkatkan *durability* dari mortar (Thomas, 2007; Ramachandra et al., 2016; Benli et al., 2017). Dalam lingkungan air laut, mortar *fly ash* akan lebih optimal, karena karena kadar CaOH_2 dalam air laut lebih rendah, sehingga seluruh CaOH_2 diharapkan akan bereaksi tanpa meninggalkan residu. Selain ditinjau dari perhitungan kuat tekan, dilakukan juga pengamatan visual untuk melihat perilaku benda uji akibat tegangan. Secara teoretis, karena adanya geseran antara pelat landasan dengan permukaan atas dan bawah benda uji, maka akibat Poisson Ratio hanya bagian tengah yang mengalami rangangan tarik, sehingga menyebabkan pola pecah silindris. Pola pecah tiap benda uji dapat dilihat pada Gambar 5a), 5b), 5c), dan 5d).



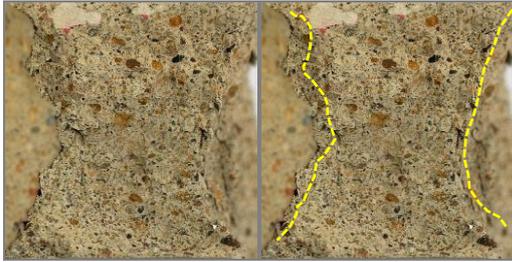
Gambar 5a. Pola keruntuhan tekan NFAT



Gambar 5b. Pola keruntuhan tekan NFAL



Gambar 5c. Pola keruntuhan tekan FAT

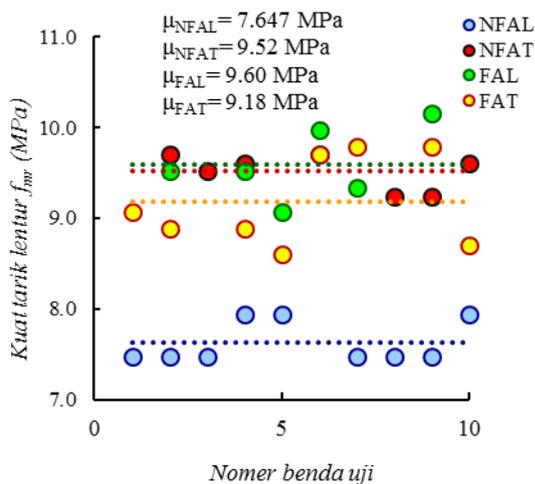


Gambar 5 d. Pola keruntuhan tekan FAL

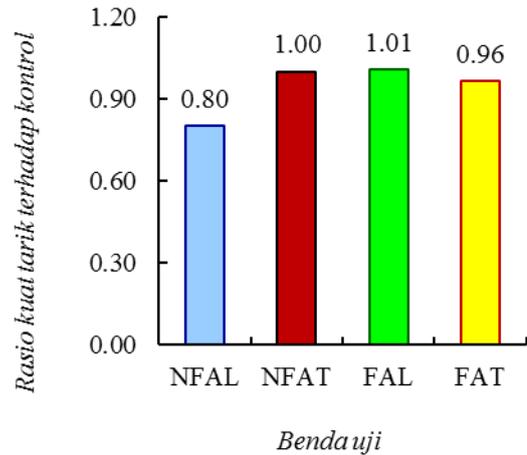
Dapat terlihat bahwa pola keruntuhan benda uji semuanya mengikuti kaidah normatif sesuai dengan perilaku tegangan akibat beban. Tak tampak adanya pola keruntuhan geser pada benda uji tekan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kuat geser mortar, meski dalam penelitian ini tidak diamati secara khusus, cukup tinggi. Perilaku keruntuhan tekan disebabkan karena adanya regangan tekan kearah tegak lurus beban, yang kemudian menyebabkan tegangan tarik. Keberadaan *fly ash* maupun air laut tidak mempunyai pengaruh terhadap pola keruntuhan.

Kuat tarik lentur

Data kuat tarik lentur (f_{mr}) didapat dengan menggunakan Persamaan (2). Seperti kuat tekan, data ini dibuat sebaran populasi dan rata-rata tiap kategorinya (Gambar 6a) dan dinormalisasi terhadap benda uji NFAT (Gambar 6b).

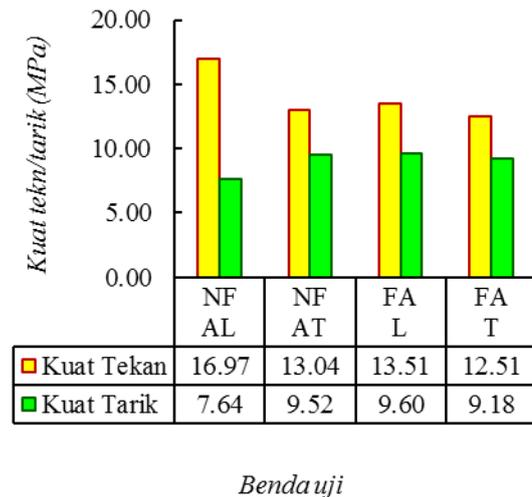


Gambar 6a. Populasi dan rata-rata kuat tarik lentur f_{mr} .



Gambar 6b. Rasio kuat tarik f_{mr} terhadap benda uji kontrol (NFAT).

Gambar 6a) menunjukkan bahwa benda uji NFAL memiliki rata-rata kuat tarik lentur yang jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan benda uji NFAT. Benda uji FAL memiliki kuat tarik lentur yang paling tinggi dari keempat kategori. Dari kedua pengujian, dapat terlihat bahwa kuat tarik bahan berbasis semen selalu lebih rendah dari kuat tekannya. Gambar 7. menunjukkan data kuat tekan dan kuat tarik untuk benda uji dengan dan tanpa *fly ash* serta responnya terhadap air laut. Tabel 1. menunjukkan rasio kuat tarik terhadap kuat tekan.



Gambar 7. Resume kuat tarik dan tekan benda uji

Tabel 1. Rasio kuat tarik terhadap tekan

Benda Uji	f_{mr}/f_m
NFAL	0.45
NFAT	0.73
FAL	0.71
FAT	0.73

Percobaan tarik lentur merupakan metoda penentuan kuat tarik tidak langsung, karena pada penampang bekerja tegangan tarik yang disebabkan oleh momen lentur, sedang bagian atas dari penampang dalam keadaan tertekan. Dengan demikian keruntuhan tarik akan terjadi pada penampang tertarik, terjauh dari garis netral dan pada daerah dengan momen lentur terbesar. Keruntuhan tarik lentur ditandai dengan retak awal pada serat terbawah, kemudian retak ini akan menjalar tegak lurus keatas menuju garis netral. Pola keruntuhan pada benda uji tarik dapat dilihat pada Gambar 8a), 8b), 8c), dan 8d). Penelitian Gawande et al. (2017) menggaris bawahi temuan bahwa kuat tekan terpengaruh positif oleh keberadaan air laut, tapi berpengaruh negatif pada kuat tarik lentur.

**Gambar 8a.** Pola keruntuhan tarik NFAT**Gambar 8b.** Pola keruntuhan tarik NFAL**Gambar 8c.** Pola keruntuhan tarik FAT**Gambar 8d.** Pola keruntuhan tarik FAL

Pola tarik benda uji *fly ash* menunjukkan perilaku yang identik dengan benda uji tekan, yakni *fly ash* dalam lingkungan air laut FAL meningkatkan kuat tarik sebesar 1% dan menurunkan kuat tarik benda uji dalam lingkungan air tawar FAT sebesar 4%. Hubungan kuat tarik terhadap

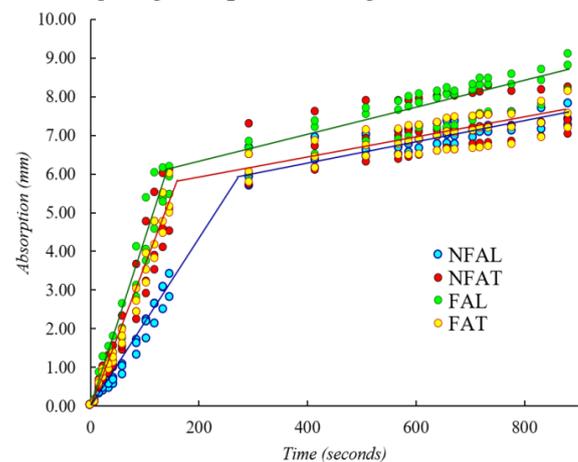
kuat tekan menyimpang dari kondisi beton, dimana kuat tekan berkisar antara 10% sampai 15% dari kuat tekannya, kuat tarik mortar jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton. Untuk benda uji mortar yang berbasis *fly ash* (FAL dan FAT) kuat tarik mencapai 75% dari kuat tekan. Nilai yang sama terlihat pada benda uji semen yang direndam dalam air tawar NFAT. Benda uji semen yang yang direndam air laut NFAL memiliki kuat tarik 45% terhadap tekan.

Penjelasan terhadap peningkatan ini kemungkinan berasal dari:

1. Kondisi interfasa. Dengan digunakannya agregat halus, maka pemadatan dapat lebih sempurna, lekatan menjadi lebih baik. Studi terhadap interfasa juga membuktikan bahwa kuat tarik interfasa merupakan fungsi terbalik terhadap ukuran agregat. Semakin kecil agregat, semakin tinggi kuat tekan dan tarik benda uji.
2. Faktor adanya *fly ash* juga berpengaruh positif karena akan mengasihkan material mortar yang lebih padat akibat reaksi sekunder antara *fly ash* dengan residu C-S-H.

Absorpsi

Resapan atau absorpsi diamati sebagai fungsi waktu. Gambar 9. menunjukkan laju resapan benda uji tiap kategori terhadap akar waktu.

**Gambar 9.** Perilaku resapan sebagai fungsi waktu

Perilaku absorpsi mortar mengikuti pola umum bahan beton dan berbentuk kurva bi-linier. Pada tahap awal laju absorpsi cukup tinggi, ini disebabkan karena air dengan cepat mengisi rongga udara diantara mortar dan agregat. Setelah 10 sampai 12 menit, laju absorpsi tam-

pak mengalami perlambatan. Titik inilah yang memandai pori-pori bahan mortar jenuh air. Hasil yang didapatkan didukung temuan Ye et al., (2016) dan Liu et al. (2017) yang meneliti pengaruh garam pada kadar porositas beton berbasis *fly ash*. Setelah ini akan terjadi penyerapan air ke dalam butiran agregat, dan intrusi air ke dalam *Hardley grains*. *Hadley grains* terbentuk karena adanya proses hidrasi pada bagian luar butiran semen yang mengakibatkan terbentuknya selaput keras dan meninggalkan sel berongga yang berisi semen yang belum bereaksi.

Dalam lingkungan air tawar, keberadaan *fly ash* tidak mempengaruhi pola resapan mortar. Benda uji NFAT dan FAT memiliki pola absorpsi yang identik. Mortar dalam kombinasi dengan air laut NFAL memperlambat proses absorpsi sampai pada titik jenuh, yang dicapai pada sekitar 17 menit. Setelah itu pola resapan mengikuti laju benda uji yang lain, yang tampak dari sejajarnya garis bi-linear dengan garis NFAT dan FAT.

KESIMPULAN

Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Benda uji berbasis semen yang direndam dalam air laut (NFAL) memiliki kuat tekan tertinggi, dengan peningkatan mencapai 30% terhadap benda uji kontrol NFAT yang direndam dalam air tawar. Perilaku bahan mortar menggunakan *fly ash* dalam lingkungan air laut sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Ramachandra et al., (2016) dan Halim et al. (2017), peneliti terakhir melakukan studi pada beton murni geopolymer berbasis *fly ash*.
- b. Semua benda uji berbasis *fly ash* tidak menunjukkan perubahan signifikan dalam pola kuat tekan (Grawande et al., 2017).
- c. *Fly ash* membutuhkan setidaknya 90 hari untuk mencapai kekuatan penuh, sehingga rendahnya respon tekan benda uji dengan *fly ash* cenderung disebabkan karena waktu reaksi yang belum tercapai penuh.
- d. Dalam lingkungan air laut, mortar *fly ash* akan lebih optimal.

Kuat tarik lentur

Kesimpulan yang didapat dari pengujian kuat tarik lentur adalah berikut:

- a. Air laut pada dasarnya tidak memberikan dampak negatif pada mortar dengan penggunaan semen.
- b. Peningkatan kuat tarik lentur mortar terhadap kuat tekannya kemungkinan berasal dari kondisi interfasa dan penggunaan *fly ash* pada benda uji.

Absorpsi

Dari hasil pengujian absorpsi, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam lingkungan air tawar, keberadaan *fly ash* tidak mempengaruhi pola resapan mortar.
2. *Fly ash* dalam lingkungan air laut meningkatkan kecepatan dan tingkat absorpsi, ini terjadi karena adanya reaksi sekunder setelah air laut berinfiltrasi kedalam rongga *Hardley* dan bereaksi dengan sisa semen didalam sel tersebut.

Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui dana hibah skim Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi antara Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara dengan Universitas Diponegoro pada tahun anggaran 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C109/C109M – 16a, (2016). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C1585 – 13, (2013). *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*, Annual Books of ASTM Standards, USA.

- ASTM C188 – 95 (2003), *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*, Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C348 – 14, (2014). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars*, Annual Books of ASTM Standards, USA.
- Benli, A., Karatas, M. and Gurses, E., (2017). "Effect of sea water and MgSO₄ solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash/silica fume", *Construction and Building Materials*, Vol. 146, 464-474.
- Chindapasirt, P. dan Rukzon, S. (2007). "Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar". *Construction and Building Materials*, Vol. 22, 1601–1606
- Gawande, S., Deshmukh, Y., Bhagwat, M., More, S., Nirwal, N. and Phadatar, A., (2017). "Comparative Study of Effect of Salt Water and Fresh Water on Concrete", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 4 (4), 2642-2646.
- Halim, L. N., Ekaputri, J. J. and Triwulan, (2017). "The Influence of Salt Water on Chloride Penetration in Geopolymer Concrete", *MATEC Web of Conferences*, ETIC 2016, Vol. 97.
- Han, F., Wang, Q., dan Feng, J., (2015). "The differences among the roles of ground fly ash in the paste, mortar, and concrete". *Construction and Building Materials*, Vol. 93, 172 – 179
- Liu, J., Ou, G., Qiu, Q., Chen, X., Hong, J. and Xing, F., (2017). "Chloride transport and microstructure of concrete with/without fly ash under atmospheric chloride condition", *Construction and Building Materials*, Vol. 146, 493-501.
- Pravallika, S. B. and Laksmi, V., (2014). "A Study on Fly Ash Concrete in Marine Environment", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 3 (5), 12395-12401.
- Ramachandra, D., George, R. P., Vishwakarma, V. and Mudali, U. K., (2017). "Strength and Durability Studies of Fly Ash Concrete in Sea Water Environments Compared with Normal and Superplasticized Concrete", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 21 (4), 1282-1290.
- Thomas, M., (2007). "Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete", *Concrete Thinking for a sustainable world*, *Portland Cement Association*
- Ye, H., Jin, N. and Jin, X., (2016). "An Experimental Study on Relationship among Water Sorptivity, Pore Characteristics, and Salt Concentrations in Concrete", *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, paper 9621.