

PENGARUH PERBANDINGAN KADAR SOLID LARUTAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER DENGAN AKTIFATOR NaOH dan Na₂SiO₃

Muhammad Ujianto^{1*}, Fandi Ahmad Dhia UI Haq², Budi Setiawan³, Yenny Nurchasanah⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura

*Email : ujianto@ums.ac.id

Abstrak

Meningkatnya permintaan beton dalam dunia konstruksi menyebabkan produksi semen semakin banyak. Industri semen juga menghasilkan gas karbondioksida yang dapat mengakibatkan pemanasan global. Teknologi geopolimer dapat menggantikan penggunaan semen untuk mengikat agregat. Geopolimer dapat memanfaatkan fly ash karena memiliki kandungan silica (SiO₂) dan alumina (Al) yang tinggi. Fly ash mengandung unsur alumina dan silica, maka dapat dimanfaatkan untuk membuat mortar geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbandingan kadar solid larutan fly ash terhadap kuat tekan, ikatan awal dan porositas mortar geopolimer dengan aktifator NaOH dan Na₂SiO₃. Rencana campuran pada penelitian menggunakan metode SNI 03-6827-2002 dengan variasi kadar solid W/FA 0,3, 0,4, dan 0,5. Mortar geopolimer terbuat dari larutan aktifator yang terdiri dari air, NaOH dan Na₂SiO₃ kemudian dicampur dengan fly ash dan pasir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar solid larutan air/fly ash berpengaruh terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Pengujian kuat tekan, waktu ikat awal dan porositas mortar geopolimer terus meningkat dari nilai kadar solid larutan air/fly ash 0,3, hingga puncaknya pada kadar solid larutan air/fly ash 0,4. Sedangkan hasil pengujian waktu ikat awal dan porositas mortar geopolimer terus meningkat berurut dari 0,3, 0,4 dan 0,5 nilai kadar solid larutan air/fly ash.

Kata kunci : Mortar Geopolimer, Fly Ash, Nilai Kadar Solid Larutan Air/Fly Ash, Kuat Tekan

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang banyak dipakai dalam dunia konstruksi. Perkembangan pembangunan infrastruktur menyebabkan pemakaian beton meningkat. Untuk mencukupi permintaan akan beton maka meningkat juga produksi semen. Ahli lingkungan banyak mempertanyakan dengan peningkatan jumlah produksi semen yang signifikan maka akan terjadi pemanasan global. Hal ini dikarenakan semakin banyak produksi semen maka meningkat pula gas karbondioksida yang dilepaskan di udara. Produksi semen 1 ton akan menghasilkan 1 ton CO₂. Industri semen berada pada urutan kedua dalam menghasilkan gas rumah kaca terutama CO₂. [A. Narayanan dan P. Shanmugasundaram, 2017]. Geopolimer sebagai bahan ramah lingkungan dapat menggantikan fungsi semen sebagai bahan pengikat agregat [Davidovits, 1994].

Menurut Davidovits (2005) geopolimer dalam pembuatan mortar dapat digunakan sebagai pengganti semen. Bahan-bahan alami yang mengandung oksida silika dan alumina yang tinggi dapat dipakai untuk pembuatan geopolimer. Fly ash, kerak tanur tinggi (*blast furnace*), abu sekam padi (*rice husk ash*) adalah bahan alami yang memiliki unsur Si dan Al. Sifat fisik maupun kimia geopolimer berbeda dengan material lain. Sifat fisik yang dimiliki bahan tidak bisa bereaksi dengan bahan lain, termasuk sifat mekanik. Perilaku reaksi kimia yang terjadi antar bahan adalah merupakan sifat kimia dari bahan tersebut [Davidovits, 2008]. Fly ash merupakan sisa pembakaran batu bara yang merupakan material buangan dari industri dan PLTU. Fly ash tidak memiliki kemampuan mengikat agregat seperti semen, maka diperlukan larutan alkali aktifator Meskipun Fly ash mengandung SiO₂ yang tinggi. Untuk mengaktifkan biasa dipakai sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH).

Karena fly ash memiliki kandungan silica dan alumina, maka dicoba untuk dimanfaatkan dalam pembuatan mortar geopolimer. Untuk itu peneliti ingin membahas tentang pengaruh perbandingan kadar solid larutan fly ash terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan aktifator NaOH dan Na₂SiO₃”

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kadar solid larutan *fly ash* terhadap kekuatan tekan, waktu ikat awal campuran dan porositas mortar geopolimer dengan aktifator NaOH dan Na_2SiO_3 .

Penelitian sebelumnya, pada NaOH 12 molar geopolimer menggunakan *fly ash*, menghasilkan kuat tekan dan kuat lekat mortar geopolimer paling tinggi. [Apsari, 2017]. Perbandingan sodium silikat terhadap sodium hidroksida menghasilkan kuat tekan yang berbeda. Perbandingan 1,25 adalah perbandingan optimum yang menghasilkan kuat tekan lebih tinggi [Yusnar dkk, 2017]. Salwatul (2017) dalam penelitiannya bahwa kuat tekan dan kuat lekat paling tinggi di hasilkan dari perbandingan sodium silikat dengan sodium hidroksida SS/SH sebesar 1,5.

Mortar

Mortar adalah bahan bangunan yang merupakan hasil campuran agregat halus, bahan perekat serta air, dengan komposisi tertentu [SNI 03-6825-2002]. Untuk mengetahui sifat-sifat mortar sebagai bahan bangunan, dilakukan uji kuat tekan, berat jenis, kuat tarik, penyerapan air, kuat rekat, susutan, dan sebagainya [Tjokrodimuljo, K 1996].

Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer tidak menggunakan semen untuk mengikat material. Fungsi semen digantikan material lain yaitu material yang mengandung oksida silica dan alumina. Perekat antara agregat menggunakan fly ash sebagai pengganti semen. Fly ash adalah limbah buangan yang berasal dari abu pembakaran batu bara. Penggunaan fly ash harus diaktifkan dengan suatu larutan aktifator sodium silikat dengan sodium hidroksida. Reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si-Al dalam proses polimerisasi di dalam beton geopolimer sehingga menghasilkan rantai polymeric tiga-dimensi dan ikatan struktur Si-O-Al-O yang konsisten [Davidovits, 1999]. 'Polysialate' adalah istilah penamaan kimia dari beton geopolimer yang berbahan dasar silicon-aluminate. Sialate berasal dari singkatan silicon-oxoaluminate [Davidovits, 2008].

Bahan Penyusun Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer disusun dari bahan-bahan sebagai berikut :

Fly Ash

Fly ash atau yang sering juga disebut abu terbang adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. Batu bara dipakai sebagai bahan bakar pembangkit PLTU atau industri dengan skala besar. *Fly ash* prosentase terbesar mengandung silikat oksida (SiO_2), alumunium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta dalam jumlah prosentase yang lebih sedikit magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur. *Fly ash* tidak hanya mengganti sebagian semen, tetapi dapat juga digunakan sebagai pengganti seluruh kebutuhan semen dalam mortar/beton geopolimer. Di dalam mortar geopolimer *fly ash* difungsikan sebagai bahan alkaline sedangkan (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) sebagai aktifator.

Air

Air bereaksi dengan semen dalam campuran pasta yang selanjutnya akan berfungsi untuk mengikat agregat sehingga akan diperoleh mortar ketika dicampurkan dengan agregat halus. Kualitas air harus diperhatikan karena reaksi air dan semen akan mempengaruhi kekuatan pasta dan mortar. Air pada proses pembuatan pasta dan mortar maupun perawatan tidak boleh mengandung bahan lain yang merusak; (minyak, asam alkali, garam, bahan-bahan organik). Air yang boleh dipakai dalam pembuatan mortar memiliki ciri-ciri tidak berbau dan berasa menyengat, tidak keruh jiks dihembus udara, dan dapat diminum.

Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir dan dapat digolongkan dalam dua katagori, pasir alami dan pasir buatan mempunyai ukuran butir maksimum 4,76 mm SNI 03-6820-2002. Pasir alami sebagai hasil disintegrasi alam dari batu-batuan. Pasir buatan adalah pasir yang dihasilkan dari alat pemecah batu.

Untuk memperoleh kualitas agregat halus yang baik dilakukan uji Kadar lumpur, kandungan bahan organik, berat jenis sesuai SNI

Alkali Aktifator

Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai alkali aktivator. Larutan silikat dalam larutan alkali akan meningkatkan kekuatan tekan beton geopolimer [Van Dao et al. 2019]. Fungsi sodium silikat untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida untuk mereaksikan unsur-unsur alumina dan silika yang terkandung dalam fly ash. Ikatan polimer yang kuat di hasilkan dari reaksi alkali aktifator dan fly ash yang baik.

Kuat Tekan Mortar

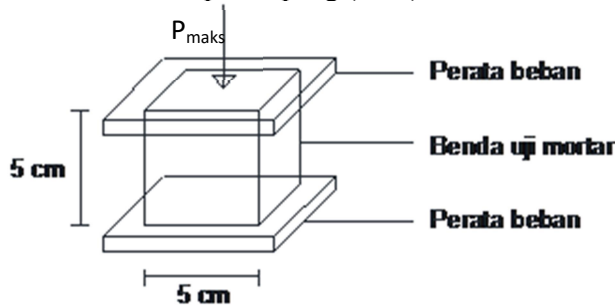
Kuat tekan mortar adalah sifat mekanik material yang digunakan sebagai parameter kualitas mortar geopolimer. Umur, kondisi temperatur, lama waktu curing dan kadar air dalam mortar geopolimer dapat dipengaruhi kuat tekan mortar geopolimer. Cara pengujian kekuatan tekan mortar semen portland menggunakan standar SNI 03-6825-2002, yang diterbitkan Badan Standarisasi Nasional Jakarta

Untuk perhitungan kuat tekan mortar geopolimer, menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$f'_m = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- f'_m = kuat tekan morta (N/mm²)
- P_{maks} = beban maksimum (N)
- A = luas penampang (mm²)



Gambar 1. Pengujian kuat tekan mortar

Waktu Ikat Awal Mortar

Waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat disebut waktu ikat awal mortar. Pengujian waktu ikat awal didapatkan data waktu dalam menit dan penetrasi dengan satuan mili meter. Cara pengujian waktu ikat awal mortar mengikuti standar SNI 03-6827-2002, yang diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional Jakarta

Porositas Mortar

Berdasarkan ASTM C 642-06, untuk menghitung porositas mortar menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{B - C}{B - A} 100\% \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- A = berat mortar di dalam air (gr)
- B = berat mortar dalam kondisi jenuh air/SSD (gr)
- C = berat mortar kering oven (gr)
- P = porositas (%)

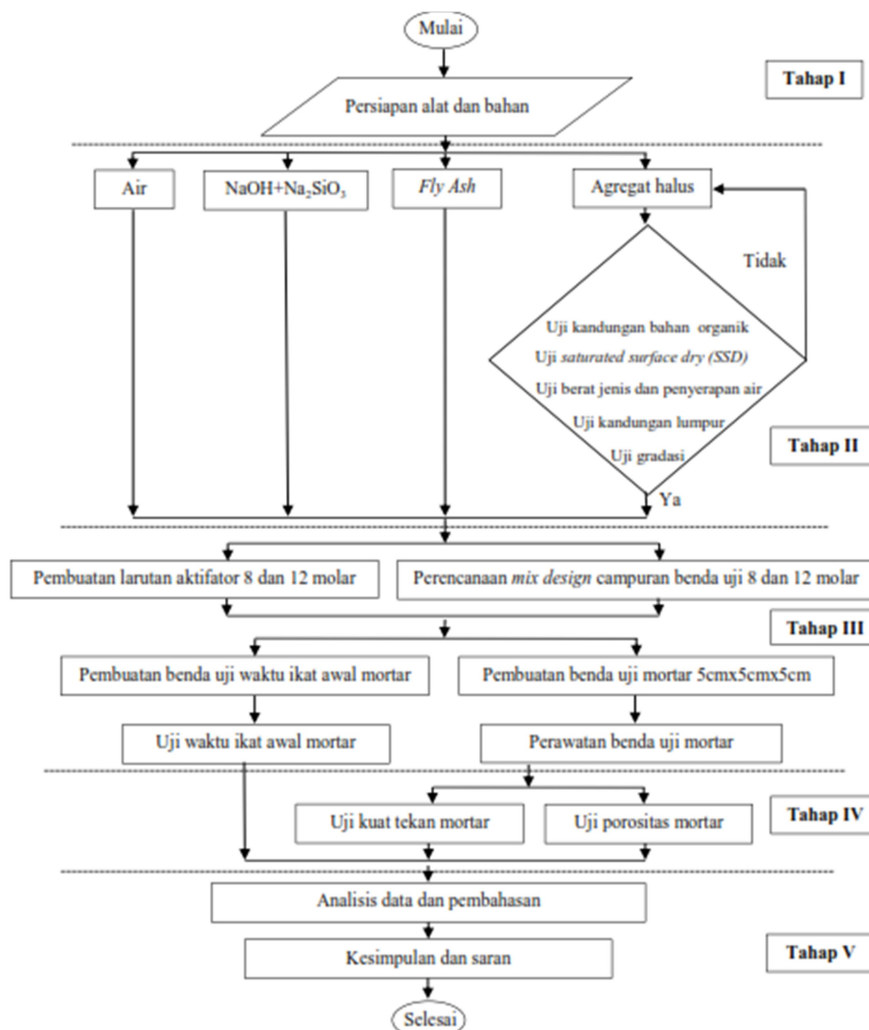
METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 5 tahap:

1. Menyiapkan alat-alat dalam kondisi baik dan bahan-bahan sesuai spesifikasi yang akan digunakan untuk pembuatan mortar geopolimer.
2. Pengujian agregat halus terdiri atas pengujian kandungan bahan organik, pengujian *Saturated Surface Dry (SSD)*, pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian kandungan lumpur, dan gradasi agregat.
3. Membuat benda uji
Perencanaan *mix design* sample untuk ikatan awal mortar menggunakan metode perancangan SNI 03-6827-2002 pada 8 molar dan 12 molar dengan variasi W/FA 0,3, 0,4, dan 0,5. Untuk lebih jelas, proporsi campuran ikat awal mortar dapat dilihat pada tabel 1.
4. Pengujian sample terdiri atas pengujian kuat tekan mortar menggunakan alat *Universal Tension Machine (UTM)*, pengujian ikatan awal mortar dengan alat *vicat apparatus*, dan pengujian porositas mortar.
5. Kesimpulan dan saran

Penelitian eksperimental ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Bagan alir penelitian disajikan dalam gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1. Proporsi campuran ikat awal mortar ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=1.5$)

W/FA	Fly Ash (gr)	Air (gr)	Air (ml)	Air (lt)	8 Molar			12 Molar		
					NaOH (t)	NaOH (gr)	Na_2SiO_3 (gr)	NaOH (n)	NaOH (gr)	Na_2SiO_3 (gr)
0.3	300	90	90	0.090	0.720	29	44	1.080	43	65
Jumlah(3)	900	270	270	0.270	2.160	87	132	3.240	129	195
0.4	300	120	120	0.120	0.960	38	57	1.440	58	87
Jumlah(3)	900	360	360	0.360	2.880	114	171	4.320	174	261
0.5	300	150	150	0.150	1.200	48	72	1.800	72	108
Jumlah(3)	900	450	450	0.450	3.600	144	216	5.400	216	324

- b. Perencanaan *mix design* benda uji mortar pada penelitian kuat tekan mortar dan porositas menggunakan metode perancangan SNI 03-6825-2002 pada mortar 8 molar dan 12 molar dengan variasi W/FA 0,3, 0,4, dan 0,5. Untuk lebih jelas, proporsi campuran ikat awal mortar dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Proporsi campuran kuat tekan dan porositas ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=1.5$)

W/FA	Pasir (gr)	Fly Ash (gr)	Air (gr)	Air (ml)	Air (lt)	8 Molar			12 Molar		
						NaOH (n)	NaOH (gr)	Na_2SiO_3 (gr)	NaOH (n)	NaOH (gr)	Na_2SiO_3 (gr)
0.3	229	83	25	25	0.025	0.2	8	12	0.300	12	18
(9)	2061	747	225	225	0.225	1.8	72	108	2.700	108	162
0.4	229	83	33	33	0.033	0.264	11	17	0.396	16	24
(9)	2061	747	297	297	0.297	2.376	99	153	3.564	144	216
0.5	229	83	42	42	0.042	0.336	13	20	0.504	20	30
(9)	2061	747	378	378	0.378	3.024	117	180	4.536	180	270

HASIL DAN PEMBAHASAN

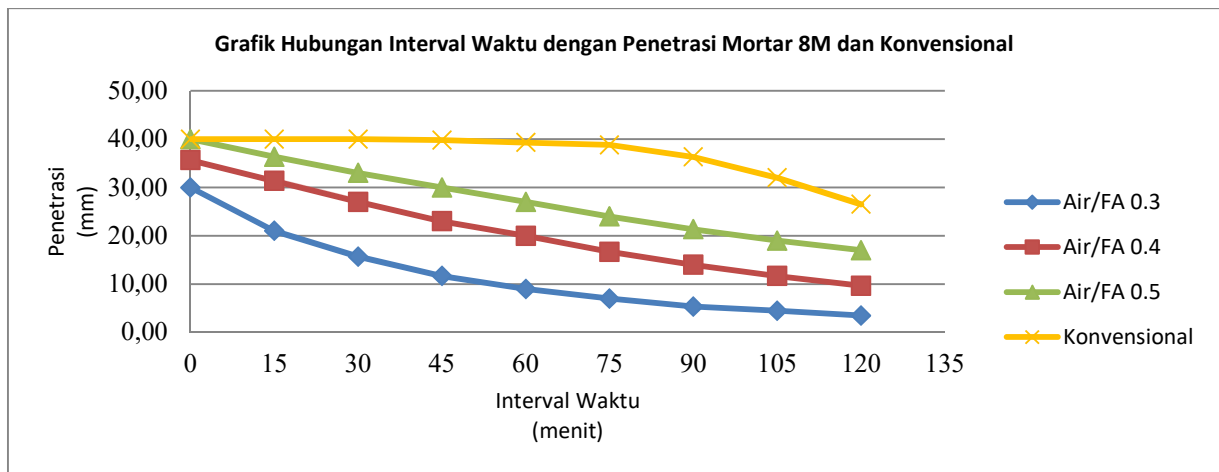
Hasil Pengujian Ikat Awal Mortar

Pengujian ikat awal mortar dilakukan dengan melakukan pengujian pasta mortar pada alat *vicat apparatus*. Pengujian didasarkan pada syarat SNI 03-6827-2002. Pengujian ikat awal mortar didapatkan penetrasi (mm) setiap 15 menit selama 120 menit. Pengujian ini dilakukan pada mortar 8 molar dan 12 molar dengan variasi kadar solid 0,3, 0,4, dan 0,5.

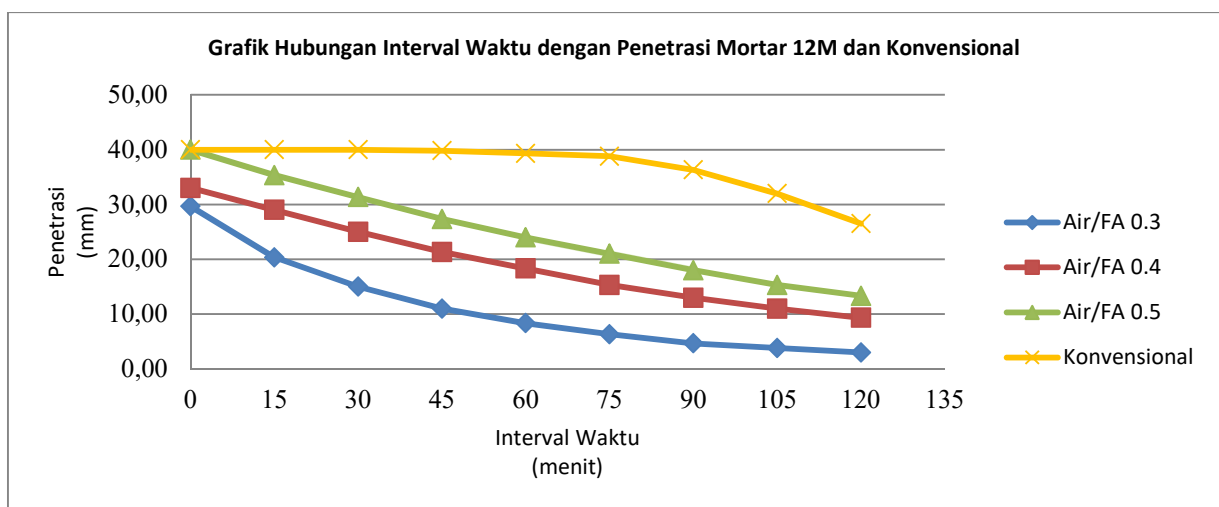
Berdasarkan gambar 3 dan 4 mortar yang memiliki perubahan sifat dari cair menjadi padat yang paling cepat adalah mortar dengan kadar solid 0,3. Sedangkan seiring bertambahnya kadar solid perubahan sifat dari cair menjadi padat bertambah lama.

Semakin tinggi nilai perbandingan kadar solid mengakibatkan mortar lebih encer sehingga ikatan awal mortar geopolimer durasinya bertambah karena dibutuhkan waktu yang lama untuk mengeras.

Berdasarkan gambar 3 dan 4 menunjukkan ikat awal mortar 8M memiliki nilai penetrasi lebih besar dibandingkan mortar 12M sehingga mortar 8M lebih lama mengeras dari pada mortar 12M. Dari gambar 2 dan 3 juga menunjukkan nilai ikat awal mortar geopolimer lebih kecil dari pada mortar konvensional. Sehingga mortar konvensional lebih cepat mengeras dari pada mortar konvensional.



Gambar 3. Grafik hubungan antara interval waktu dengan penetrasi mortar 8M dan konvensional

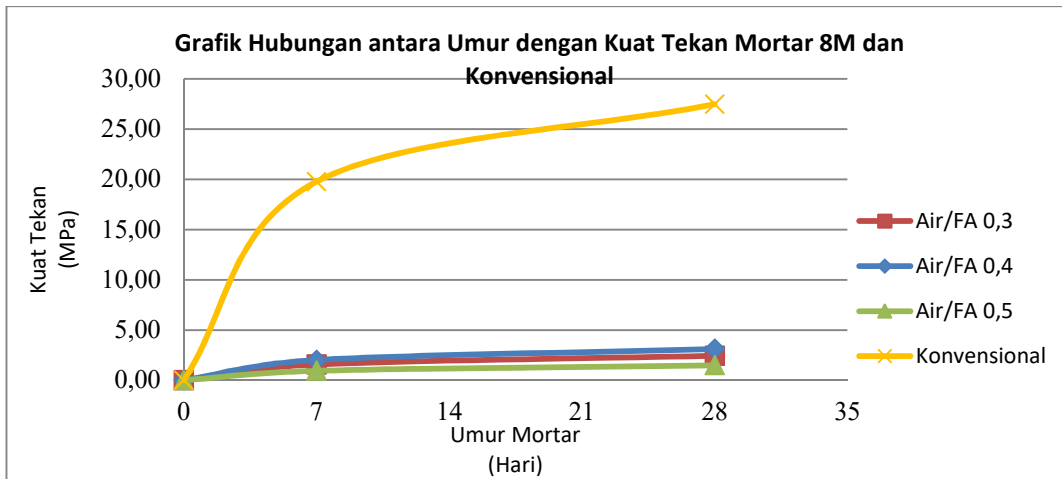


Gambar 4. Grafik hubungan antara interval waktu dengan penetrasi mortar 12M dan konvensional

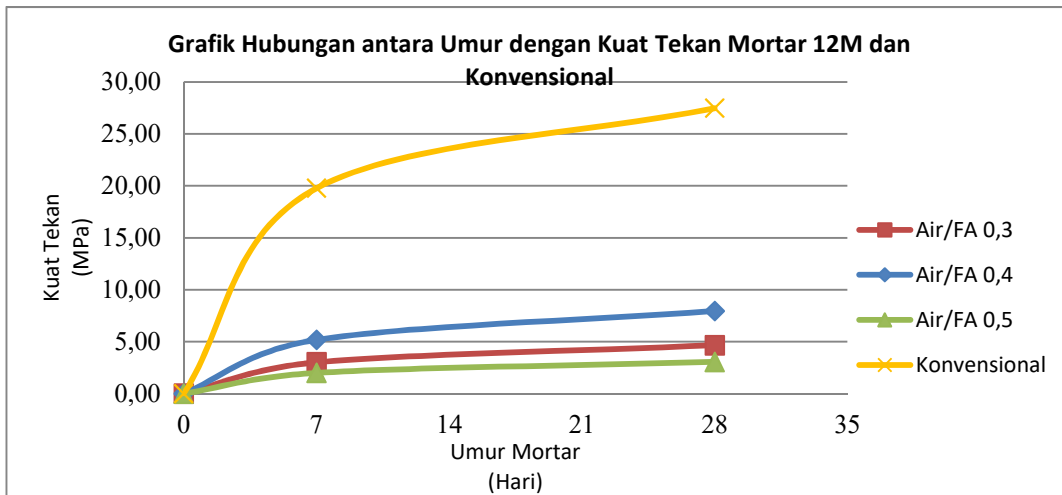
Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar geopolimer adalah gaya maksimum dalam newton yang diterima sample dibagi luas permukaan dalam milimeter persegi yang bekerja pada benda uji mortar geopolimer berbentuk kubus (SNI 03-6825-2002). Nilai kuat tekan mortar geopolimer ukuran kubus 5cm x 5cm x 5cm dapat diketahui dengan cara membagi P_{maks} dengan luas permukaan mortar kubus. Pengujian sample mortar geopolimer molaritas 8M dan 12M dengan variasi air/fly ash 0,3, 0,4, dan 0,5 saat umur mortar 7 hari dan 28 hari. Hasil Pengujian dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.

Dari gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa mortar yang memiliki kuat tekan maksimal adalah mortar dengan perbandingan solid air/fly ash 0,4. Kadar soli 0,4 memiliki keseimbangan komposisi antara komponen padat maupun komponen cair yang menyusun material serta larutan alkali aktivator. Dengan keseimbangan komposisi tercipta *workability* sehingga mudah untuk dituang, dicetak dan dipadatkan. Kemudahan dalam pengerjaan, keseimbangan rasio komponen cair dan pepadatan ini menjadikan mortar geopolimer dengan nilai air/fly ash 0,4 memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan variasi air/fly ash yang lain. Mortar geopolimer 8 molar umur 7 hari kuat tekan sebesar 2,02 MPa dan 28 hari sebesar 3,11 MPa. Kuat tekan mortar geopolimer 12 molar 7 hari sebesar 5,18 MPa dan 28 hari sebesar 7,97 MPa.



Gambar 5. Grafik hubungan antara umur dengan kuat tekan mortar mortar 8M dan konvensional



Gambar 6. Grafik hubungan antara umur dengan kuat tekan mortar mortar 8M dan konvensional

Berdasarkan gambar 5 dan 6 menunjukkan nilai kuat tekan mortar 8M lebih kecil dari pada mortar 12M. Nilai molaritas yang lebih tinggi menyebabkan mortar padat sehingga mortar menjadi kuat dan keras. Berdasarkan gambar V.4 dan V.5 juga menunjukkan nilai kuat tekan mortar geopolimer lebih kecil dari pada mortar konvensional dikarenakan mortar geopolimer lebih basah permukaannya sehingga mudah hancur.

Hasil Pengujian Porositas Mortar

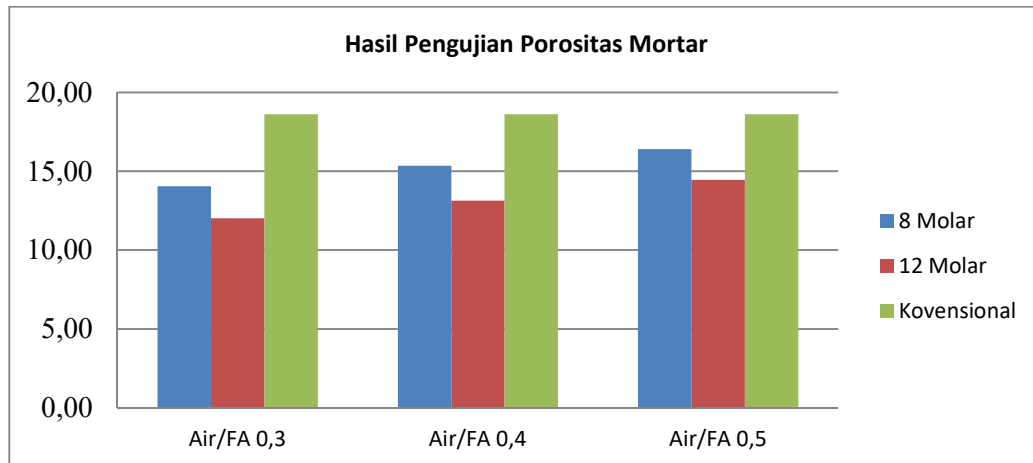
Pengujian porositas mortar dilakukan pada umur mortar 28 hari. Hasil pengujian porositas mortar 8 dan 12 molar dengan variasi kadar solid 0,3, 0,4 dan 0,5 dapat dilihat pada gambar 7.

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat bahwa mortar yang memiliki porositas paling tinggi adalah mortar 8 molar. Sedangkan seiring bertambahnya kadar solid nilai porositas semakin tinggi. Mortar geopolimer memiliki nilai porositas yang lebih kecil dari pada mortar konvensional.

Nilai porositas meningkat sesuai tingkat variasi kadar solid menunjukkan bahwa mortar memiliki pori yang relatif besar akibat terjadinya penguapan air mortar. Pori yang besar merupakan salah satu penyebab turunnya kualitas mortar, khususnya kemampuan mortar dalam memikul beban tekan.

Semakin kedap mortar geopolimer maka porositas semakin kecil, sehingga kuat tekan lebih besar. Mortar geopolimer yang memiliki nilai porositas minimum akan lebih kuat dibandingkan

dengan mortar yang memiliki nilai porositas tinggi, karena porositas yang minimum akan memperkecil kemungkinan mortar memiliki pori yang menyebabkan mortar mudah hancur.



Gambar 7. Grafik hubungan antara air/fly ash dengan porositas mortar

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian pengaruh perbandingan kadar solid larutan air/fly ash terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan aktifator NaOH dan Na₂SiO₃ dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1). Dari hasil pengujian *compression*, kuat tekan meningkat seiring bertambahnya nilai kadar solid larutan mortar geopolimer 8 molar dan 12 molar pada umur 7 hari dan 28 hari. Kadar solid larutan memiliki nilai optimum pada mortar geopolimer kadar solid 0,4 dengan kuat tekan mortar geopolimer 8 molar umur 7 hari sebesar 2,02 MPa dan umur 28 hari sebesar 3,11 MPa. Untuk mortar geopolimer 12 molar kuat tekan umur 7 hari sebesar 5,18 MPa dan umur 28 hari sebesar 7,97 MPa.
- 2). Dari hasil pengujian ikat awal mortar geopolimer 8 molar dan 12 molar menunjukkan bahwa kadar solid larutan 0,3, 0,4, dan 0,5 berpengaruh pada ikat awal mortar geopolimer. Seiring bertambahnya nilai kadar solid larutan semakin lama waktu yang dibutuhkan mortar geopolimer untuk mengeras.
- 3). Dari hasil pengujian porositas mortar geopolimer 8 molar dan 12 molar menunjukkan bahwa kadar solid larutan 0,3, 0,4, dan 0,5 berpengaruh pada porositas mortar geopolimer. Seiring bertambahnya nilai kadar solid larutan nilai porositas semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Narayanan, P. Shanmugasundaram. 2017. An Experimental Investigation on Flyash-based Geopolymer Mortar under different curing regime for Thermal Analysis, Energy and Buildings, 138 (2017) 539–545 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.07>
- Apsari, Debi. 2017. Pengaruh Penambahan Variasi Molaritas naoh Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lekat Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang Pada Aplikasi Spesi Bata Merah. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- ASTM. 2006. Standart Test Method of Density, Absorption, and Void's in Hardened Concrete ASTM C 642-06. Amerika Serikat: American Society for Testing Materials.
- BSN. 2002. Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil SNI 03-6825-2002. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. 2002. Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil SNI 03-6827-2002. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. 2002. Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen SNI 03-6820-2002. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Davidovits, Joseph. 1994. Property of Geopolymer Cement. First International Conference of Alkaline Cemens and Concrete. Autralia.

- Davidovits, Joseph. 1999. Chemistry of Geopolymer System Terminology. Paper Presented at the Geopolymer '99 International Conferences. Perancis.
- Davidovits, Joseph. 2005. Green Chemistry and Sustainable Development Solutions. Perancis: Geopolymer Institute.
- Davidovits, Joseph. 2008. Geopolymer: Chemistry and Applications. Perancis: Geopolymer Institute.
- Salwatul, Novi. 2017. Pengaruh Rasio Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat Pada Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser Pada Aplikasi Spesi Batu Bata. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Tjokrodinuljo, K, 1996. *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Van Dao, Dong, Son Hoang Trinh, Hai Bang Ly, and Binh Thai Pham. 2019. "Prediction of Compressive Strength of Geopolymer Concrete Using Entirely Steel Slag Aggregates: Novel Hybrid Artificial Intelligence Approaches." *Applied Sciences (Switzerland)* 9(6):1–16.
- Yusnar, Cut. Dkk. 2017. Mechanical Properties Beton Agropolimer Abu Sekam Padi dengan Aktivator Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida. Banda Aceh: Politeknik Negeri Lhokseumawe.