

## PENGGUNAAN TRASS UNTUK SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DALAM PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER

**Sandri Linna Sengkey<sup>1✉</sup>, Rita Irmawaty<sup>2</sup>, Muralia Hustim<sup>3</sup>, Purwanto<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Universitas Hasanuddin, Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino KM. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171

<sup>4</sup>Universitas Hasanuddin, Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino KM. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171

e-mail:s.sengkey@yahoo.com✉, Rita\_irmawaty@yahoo.co.id, muraliahustim@yahoo.com, purwanto@unhas.ac.id

### ABSTRACT

*The availability of trass in Indonesia is quite large so it needs to be used in the manufacture of concrete and mortar. In addition, the high content of silica elements from trass is expected to have an influence in the manufacture of geopolymer materials. In this study, the effect of using trass as a substitute for fine aggregates in the manufacture of fly ash-based geopolymer mortar on workability and compressive strength will be discussed. Trass substitution is made with variations of 0%, 10%, 20% and 30% by weight of sand. The geopolymer mortar mixture was made with a Fly ash / sand composition of 0.5, 10 M NaOH, a Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> / NaOH ratio of 2.5 and an alkaline activator / fly ash ratio of 0.5 using the indoor curing method. The study results showed that the greater the trass substitution, the decreasing workability value while the compressive strength increased. Trass substitution of 20% sand gives optimal compressive strength results.*

**Key words:** Compressive Strength; Fly ash; Geopolymer Mortar; Trass; Workability

### ABSTRAK

*Ketersediaan trass di Indonesia cukup banyak sehingga perlu dimanfaatkan dalam pembuatan beton maupun mortar. Selain itu kandungan unsur silika yang cukup tinggi dari trass diharapkan dapat memberi pengaruh dalam pembuatan material geopolimer. Dalam studi ini, pengaruh penggunaan trass sebagai bahan substitusi agregat halus dalam pembuatan mortar geopolimer berbahan fly ash terhadap workabilitas dan kuat tekan akan didiskusikan. Substitusi trass dibuat dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap berat pasir. Campuran mortar geopolimer dibuat dengan komposisi Fly ash/pasir sebesar 0.5, NaOH 10 M, rasio Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH sebesar 2.5 dan rasio alkali activator/fly ash sebesar 0.5 dengan metode curing dalam ruangan. Hasil studi menunjukkan semakin besar substitusi trass, nilai workabilitas menurun sedangkan kuat tekan semakin meningkat. Substitusi trass terhadap pasir sebesar 20% memberikan hasil kuat tekan yang optimal.*

**Kata kunci:** Fly ash; Kuat Tekan; Mortar Geopolimer; Trass; Workabilitas

### PENDAHULUAN

Penggunaan semen secara masif dalam dunia konstruksi dewasa ini menjadi salah satu penyumbang gas rumah kaca yaitu gas CO<sub>2</sub> yang menyebabkan pemanasan global. Hal ini disebabkan karena untuk memproduksi 1 ton semen, maka akan mengeluarkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 1 ton juga [1]. Pengikat geopolimer menjadi salah satu pilihan bagi dunia konstruksi sebagai bahan

alternatif pengganti semen yang lebih ramah lingkungan sebab emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dalam memproduksi geopolimer 70-80% lebih kecil daripada semen Portland biasa [2]. Selain itu material geopolimer memiliki kekuatan dan durabilitas yang baik bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan material yang menggunakan semen Portland biasa [2, 3, 4, 5, 6].

Pembuatan pengikat geopolimer memerlukan precursor yaitu bahan yang banyak kandungan silika dan atau

alumina. Precursor atau bahan dasar ini banyak terdapat pada material pozzolan, baik pozzolan alami maupun buatan. Selain itu diperlukan juga larutan alkali activator. Bahan-bahan ini kemudian akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer Si-O-Al yang mempunyai kekuatan mengikat seperti pasta semen. Fly ash merupakan salah satu pozzolan buatan yang paling banyak digunakan dalam pembuatan geopolimer disebabkan ketersediaannya yang banyak. Seiring dengan semakin meningkatnya penelitian mengenai geopolimer, penggunaan pozzolan alami mulai dilakukan.

A. Allahverdi dkk [7] melakukan investigasi tentang kemungkinan pemanfaatan pozzolan alam type pumice dalam pembuatan geopolimer semen. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pozzolan alami type pumice dapat diaktifkan sebagai geopolimer dengan menggunakan campuran  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH yang proporsional. Hasil pembentukan geopolimer semen menunjukkan workabilitas dan kuat tekan 28 hari yang dapat diterima.

Pengaruh proporsi pozzolan alami/slag sebesar 70/30, 50/50 dan 30/70 terhadap sifat beton geopolimer diteliti oleh M. Najimi dkk [8]. Hasil yang optimum diperoleh pada proporsi pozzolan alami /slag sebesar 50/50 dan kombinasi  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  30/70. Peningkatan kuat tekan ini terjadi karena dengan meningkatnya jumlah slag maka jumlah oxide kalsium yang dikandung slag juga meningkat. Oxida kalsium ini dalam proses geopolimerisasi membentuk struktur C-A-S-H yang amorfous sehingga meningkatkan nilai kuat tekan beton geopolimer.

Penggunaan pozzolan alami zeolite sebagai prekursor dalam pembuatan mortar geopolimer, dilakukan oleh F. N. Degirmenci [9]. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai kuat tekan mortar yang menggunakan pozzolan alami zeolite lebih rendah dibandingkan

memakai prekursor lain seperti *fly ash* dan *ground granulated blast furnace slag* (GGBS). Begitu juga ketika pozzolan alami zeolite dijadikan sebagai bahan substitusi ke fly ash dan GGBS sebesar 50% (50% fly ash: 50% zeolite dan 50% GGBS : 50% zeolite). Kuat tekan mortar geopolimer berkurang ketika disubstitusi dengan zeolite. Hal ini disebabkan *pozzolanic activity* pada zeolite lebih rendah dibandingkan dengan fly ash dan GGBS.

Pozzolan alami di Indonesia dikenal dengan nama trass. Ketersediaan kandungan trass di Indonesia cukup banyak yang tersebar mengikuti jalur rangkaian gunung api tersier dan kuarter antara lain terdapat di Nangroe Aceh Darussalam, Sumatra Utara, Sumatra Barat, Jambi, Bengkulu, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Utara dan Sulawesi Selatan [10]. Dalam pembuatan semen, trass merupakan salah satu bahan aditif yang digunakan. Trass mempunyai kandungan silika yang tinggi, dan bila bereaksi dengan kapur padam dan air, akan menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang mempunyai sifat semen dan tidak larut dalam air. Trass mudah sekali kontak dengan air, yang kemudian menjadi keras [11]. Trass yang mengandung unsur silika yang cukup tinggi, dapat digunakan dalam pembuatan material geopolimer. Penelitian beton geopolimer dengan memanfaatkan trass dilakukan oleh J. J. Ekaputri [12]. Hasil penelitian ini merekomendasikan bahwa trass dapat dipakai untuk beton struktural asalkan perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  berkisar 2 – 2,5, sedangkan konsentrasi larutan NaOH sebesar 10M – 14M.

Risdanareni dkk [13] melakukan penelitian tentang beton geopolimer dengan menggunakan trass sebagai bahan pengisi. Alasan digunakannya trass sebagai bahan pengisi karena

sifatnya kurang amorf. Hasil yang diperoleh menunjukkan pengaruh penambahan trass dalam campuran beton geopolimer menyebabkan kuat tekan beton berkurang hampir 36%.

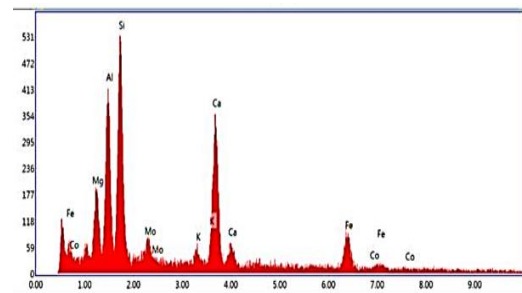
Pada studi ini, trass digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus dalam pembuatan mortar geopolimer fly ash. Tingginya aktivitas konstruksi dewasa ini menyebabkan kebutuhan pasir sebagai agregat halus semakin bertambah. Kondisi ini dapat berdampak pada degradasi lingkungan. Trass sebagai pozolan alami dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi pasir. Selain itu kandungan unsur silica dari trass, diharapkan dapat memberi efek positif pada perilaku mortar geopolimer.

## METODE PENELITIAN

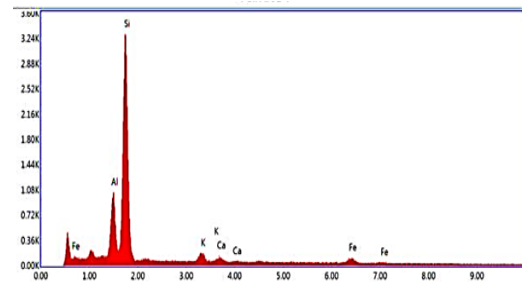
### 1. Material

Material yang digunakan dalam pembuatan mortar geopolimer yaitu fly ash, yang diambil dari PLTU Amurang, trass diambil dari daerah Minahasa, dan pasir diambil dari sungai Amurang. Ketiga material ini lokasinya di Sulawesi Utara. Dari hasil analisa Energy Dispersive X-Ray (EDX) pada gambar 1, komposisi kimia fly ash mengandung 22.3%  $\text{SiO}_2$ , 15.14%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 21.88%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 30.01%  $\text{CaO}$  dan 5.85%  $\text{MgO}$  sedangkan trass terdiri dari 66.69%  $\text{SiO}_2$ , 14.79%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 11.76%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2.24%  $\text{CaO}$  dan 4.51%  $\text{K}_2\text{O}$ . Menurut ASTM C618-08a [14] fly ash ini termasuk klas C karena kadar  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$  serta  $\text{CaO} > 5\%$  dan trass termasuk pozolan klas N. Analisa X-Ray Difrraction (XRD) untuk mengetahui struktur kristal, komposisi mineral dan tingkat kekristalan fly ash dan trass ditunjukkan pada gambar 2. Dari analisa XRD, trass asal Minahasa kurang bersifat amorf sehingga dalam studi ini digunakan sebagai pengganti sebagian pasir. Sebelum dipakai, trass dikeringkan dalam oven pada

temperatur  $100^\circ\text{C}$  selama 24 jam kemudian di saring dengan saringan 0.075mm. Trass yang lolos, kemudian digunakan dalam pembuatan mortar geopolimer. Untuk agregat halus, pasir sungai lolos saringan 4.75 mm dengan berat jenis saturated surface dry (SSD) 2.58 dan modulus kehalusan 2.92. Alkali activator yang digunakan berupa sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan sodium silica ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

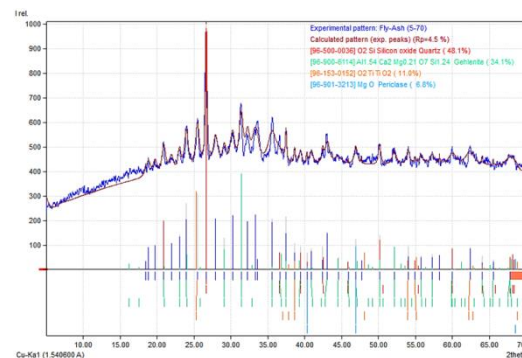


(a)

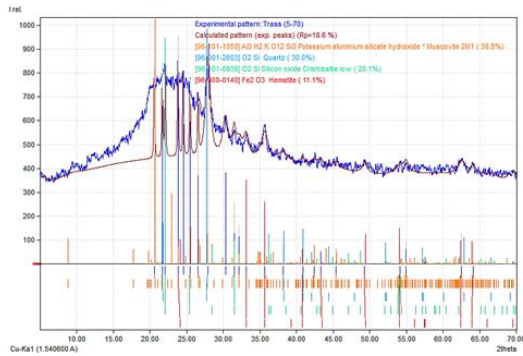


(b)

Gambar 1. Hasil Analisa EDX dari (a) fly ash dan (b) trass



(a)



(b)

Gambar 2. Hasil Analisa XRD dari (a) fly ash dan (b) trass

## 2. Pembuatan campuran mortar geopolimer.

Campuran mortar geopolimer berbahan fly ash dibuat dengan perbandingan fly ash/pasir sebesar 0.5, molaritas NaOH sebesar 10M, rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  2.5. dan rasio alkali activator/fly ash sebesar 0.5, dengan variasi besarnya substitusi trass terhadap berat pasir yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%. Tabel 1 memperlihatkan proporsi campuran mortar geopolimer berbahan fly ash dengan trass sebagai bahan substitusi pasir. Proses pencampuran mortar dilakukan dengan menggunakan metode separate mixing [15, 16]. Pertama, fly ash dan larutan NaOH di mixer selama 3 menit, kemudian tambahkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan mixer selama 2 menit. Terakhir pasir dan trass dimasukkan dalam adukan dan mixer selama 3 menit.

Tabel 1. Proporsi campuran mortar geopolimer

% Trass	Fly ash (gr)	Pasir (gr)	Trass (gr)	NaOH (gr)	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ (gr)
0%	300	600	0	43	107
10%	300	540	60	43	107
20%	300	480	120	43	107
30%	300	420	180	43	107

Cetak dalam mould kubus ukuran sisi 50 mm. Sampel uji kemudian

diletakkan dalam ruangan dengan temperatur  $28 \pm 2^\circ\text{C}$ . Setelah curing selama 24 jam, benda uji dikeluarkan dari mould, kemudian dimasukkan ke dalam box stereoform agar suhu tetap terjaga, sampai umur pengujian 7, 28 dan 60 hari.

## 3. Pengujian sampel

Pengujian workabilitas mortar geopolimer dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM C1437 [17] dengan menggunakan meja leleh. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperkirakan tingkat kemudahan dalam pengerjaan mortar geopolimer.

Pengujian kuat tekan mortar geopolimer mengacu pada standar ASTM C109 [18]. Nilai kuat tekan mortar diperoleh melalui pengujian menggunakan mesin uji tekan dengan cara memberi beban tekan dengan kecepatan pembebanan tertentu. Beban maksimum yang dapat dipikul mortar per satuan luas penampang benda uji merupakan nilai kuat tekan mortar yang dinyatakan dalam MPa atau  $\text{N}/\text{mm}^2$ . Nilai kuat tekan diambil dari nilai rata-rata tiga buah sampel pada setiap campuran.

## HASIL dan PEMBAHASAN

### 1. Workabilitas mortar geopolimer

Hasil pengujian workabilitas mortar geopolimer berbahan dasar fly ash dengan mengganti sebagian pasir dengan trass ditunjukkan pada tabel 2. Dari tabel 2 terlihat bahwa semakin besar persentase trass yang ditambahkan, nilai flow mortar semakin berkurang. Untuk substitusi trass sebanyak 10%, 20% dan 30% dari berat pasir, nilai flow mortar berturut-turut sebesar 80%, 52% dan 2%. Workabilitas campuran mortar yang menggunakan substitusi trass sebesar 30% dari berat pasir, sulit dikerjakan karena nilai flow yang sangat rendah.

Tabel 2. Nilai flow mortar geopolimer dengan variasi jumlah trass

Substitusi Trass (%)	Diameter Flow (mm)	Flow (%)
0% T	210	110
10% T	180	80
20% T	152	52
30% T	102	2

Hasil eksperimen menunjukkan workabilitas campuran mortar yang baik tercapai pada substitusi trass sebesar 10% dan 20% dengan diameter flow mortar sebesar 152 – 180 mm.

Hasil ini didukung oleh penelitian terdahulu [19] yang menyatakan bahwa diameter flow minimum agar mortar geopolimer mudah dikerjakan sebaiknya 150+10 mm.

Hasil pengujian pada tabel 2 diatas jika dibandingkan dengan klasifikasi workabilitas mortar geopolimer yang dibuat K. Ghosh dkk. [19] pada tabel 3, menunjukkan bahwa pada substitusi trass 10% – 20%, nilai flow mortar berada pada kriteria *moderate* (150-180 mm), sedangkan pada substitusi trass 30%, nilai flow mortar menjadi sangat kecil atau masuk kriteria *very stiff*. Kondisi ini mungkin disebabkan karena trass mempunyai sifat mudah bereaksi dengan air/larutan, sehingga semakin banyak jumlah trass dalam campuran mortar, semakin besar kemampuan serapan terhadap air/larutan aktivator. Kondisi ini juga membuat pengikatan mortar menjadi lebih cepat dan nilai flow menjadi berkurang.

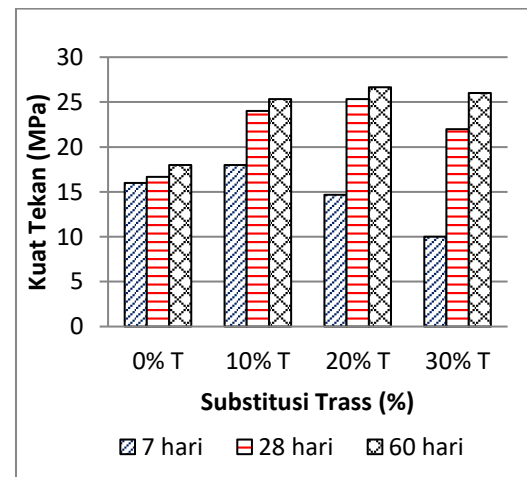
Pada mortar tanpa substitusi trass (0%), diameter flow cukup tinggi yaitu 210 mm atau termasuk kriteria *high workability*. Berdasarkan hasil pengujian memperlihatkan bahwa penggunaan trass dalam campuran mortar geopolimer sebesar 10-20% dari berat pasir, dapat memperbaiki nilai flow mortar dari kriteria *high workability* ke *moderate workability*.

Tabel 3. Kriteria workabilitas mortar geopolimer

No.	Flow Diameter	Workability
1	Above 250 mm	Very high
2	180 – 250 mm	High
3	150 – 180 mm	Moderate
4	120 – 150 mm	Stiff
5	Below 120 mm	Very Stiff

## 2. Kekuatan Tekan Mortar Geopolimer

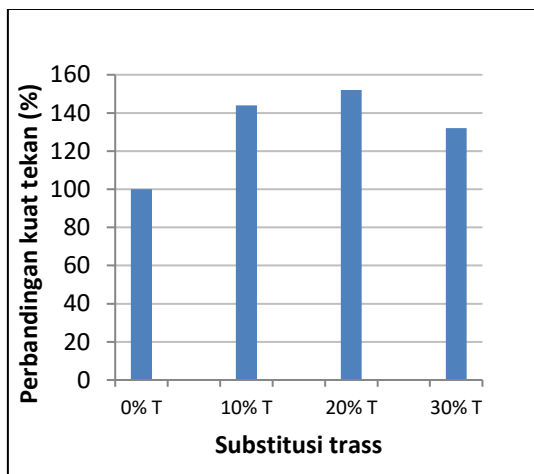
Gambar 3 menunjukkan pengaruh substitusi sebagian pasir dengan trass terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbahan fly ash. Pada gambar 3 dapat dilihat terjadi peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan untuk mortar yang disubstitusi dengan trass, dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan trass (0% T). Pada substitusi trass 10% sampai 20%, kuat tekan meningkat dan kemudian berkurang pada substitusi trass 30%.



Gambar 3. Hubungan besarnya substitusi trass dengan kuat tekan mortar geopolimer.

Perbandingan kuat tekan pada umur 28 hari dari campuran yang menggunakan trass terhadap campuran mortar tanpa trass (0%) diperlihatkan pada gambar 4. Besarnya kenaikan kuat tekan untuk substitusi trass 10%, 20% dan 30% berturut-turut adalah 44%, 52% dan 32%. Meningkatnya kuat tekan mortar geopolimer berbahan dasar fly ash yang

menambahkan trass sebagai bahan substitusi pasir, disebabkan karena trass sebagai bahan pozolan dengan kandungan silica yang cukup tinggi ( $\text{SiO}_2$ ), bila bereaksi dengan kapur padam ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dan air, akan menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang mempunyai sifat semen yang ikut memberi dampak pada meningkatnya kuat tekan [20]. Peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada campuran dengan substitusi trass sebanyak 20% dengan kuat tekan optimum pada umur 28 hari sebesar 25.33 MPa. Kondisi optimum yang tercapai pada substitusi 20% trass mungkin disebabkan karena jumlah trass yang dicampurkan, sesuai dengan kebutuhan untuk terjadinya reaksi yang menghasilkan senyawa C-S-H.



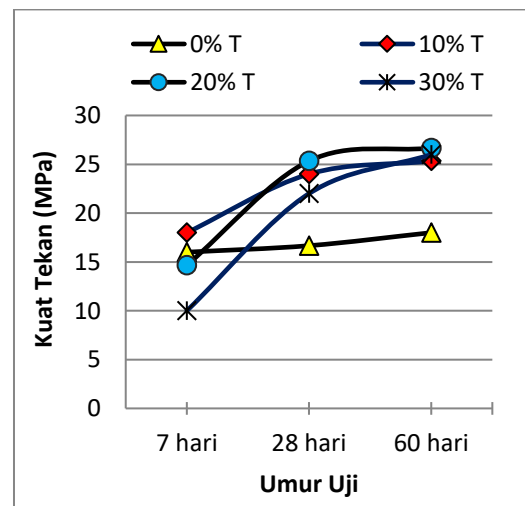
Gambar 4. Perbandingan kuat tekan pada umur 28 hari terhadap campuran mortar tanpa trass

Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan trass sebagai bahan substitusi pasir dengan proporsi tertentu dalam campuran mortar geopolimer berbahan fly ash, dapat meningkatkan nilai kuat tekan.

Pada gambar 5 memperlihatkan peningkatan kuat tekan seiring dengan makin bertambah umur mortar geopolimer. Untuk mortar geopolimer berbahan fly ash yang tanpa substitusi trass (0%), peningkatan nilai kuat tekan

dari umur 7 sampai 60 hari berlangsung lambat. Tapi dari gambar menunjukkan kecenderungan masih terus akan terjadi peningkatan kuat tekan. Hasil ini sesuai dengan penelitian S. E. Wallah [21] tentang pengaruh perawatan terhadap kuat tekan beton geopolimer berbahan fly ash yang menyatakan bahwa beton yang dirawat pada temperatur ruang mengalami perkembangan kekuatan yang lebih lambat, terutama pada umur muda sampai dengan 3 bulan dan setelah itu tidak terjadi peningkatan kekuatan tekan yang berarti.

Untuk mortar geopolimer berbahan fly ash yang menggunakan trass sebagai bahan substitusi pasir, pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan pada umur 7 hari, belum cukup terlihat, bahkan cenderung menurun. Hal ini mungkin terjadi karena proses pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang ikut mempengaruhi kuat tekan berlangsung lambat pada umur 7 hari. Tapi setelah umur 28 hari, terlihat peningkatan nilai kuat tekan yang cukup signifikan untuk semua campuran yang menggunakan substitusi trass.



Gambar 5. Hubungan umur mortar dengan kuat tekan mortar geopolimer.

Dari gambar 5 terlihat substitusi 20% trass dari berat pasir memberikan nilai kuat tekan terbesar pada umur 28 dan 60 hari. Berdasarkan hasil ini dapat

disimpulkan bahwa peningkatan kuat tekan dengan penambahan trass berlangsung lambat pada umur muda (sampai 7 hari) dan kemudian meningkat cukup besar pada umur 28 hari. Selanjutnya dari umur 28 hari ke 60 hari, masih terjadi peningkatan kuat tekan, tapi mulai terlihat lambat.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi dapat disimpulkan bahwa semakin besar substitusi trass terhadap pasir dalam pembuatan mortar geopolimer berbahan fly ash, maka diameter flow mortar semakin berkurang. Pada substitusi trass 10% - 20% dari berat pasir, dapat memperbaiki nilai flow mortar yang semula tinggi (*high*) menjadi sedang (*moderate*). Workabilitas mortar yang baik terjadi pada campuran dengan substitusi trass 10% - 20%. Penggunaan trass dengan proporsi tertentu dalam campuran mortar geopolimer sebagai bahan substitusi pasir, dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Besarnya kenaikan kuat tekan mortar geopolimer pada umur 28 hari akibat substitusi trass sebesar 10%, 20% dan 30% terhadap mortar tanpa trass, berturut-turut adalah 44%, 52% dan 32%. Kuat tekan optimum pada umur 28 hari sebesar 25.33 MPa tercapai pada substitusi trass terhadap pasir sebesar 20%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Davidovits, "Global warming impact on the cement and aggregates industries", *World Resources*, Rev. 6(2) 263-78, 1994.
- [2] G. F. Huseien, J. Mirza, M. Ismail, S. K. Ghoshal, A. A. Hussein, "Geopolymer Mortars As Sustainable Repair Material : A Comprehensive Review", *Renewable and Sustainable Energy*, Rev., 80, 54-74, 2017.
- [3] D. W. Law., A. A. Adam, T. K. Molyneaux, I. Patnaikuni, A. Wardhono, "Long term durability properties of class F fly ash geopolymer concrete", *Materials and Structures*, 48:721-731, 2015.
- [4] T. Baszczyski dan Krol, "Durability of cement and geopolymer composites", *IOP Conference series:Materials science and Engineering*, 251 012005, 2017.
- [5] P. Chindapasirt, U. Rattanasak, "Fire-resistant geopolymer brick synthesized from high-calcium fly ash with outdoor heat exposure", *Journal Clean Technologies and Environmental Policy*, 2018.
- [6] F. Colangelo, R. Cioffi, G. Roviello, I. Capasso, D. Caputo, P. Aprea, B. Liguori, C. Ferone, "Thermal Cycling stability of fly ash based geopolymer mortars", *Composites Part B: Engineering*, Volume 129, 11-17, November 2017.
- [7] A. Allahverdi, K. Mehrpour, E.N Kani, "Investigating the possibility of utilizing pumice-type natural pozzolan in production of geopolymer cement", *Ceramics-Silikaty*, 52 (1) 16-23, 2008.
- [8] M. Najimi and N. Ghafoori, "Engineering properties of natural pozzolan/slag based alkali activated", *Concrete Construction & building Materials*, 208 46-62, 2019.
- [9] F. N. Degirmenci, "Utilization of natural and waste pozzolans as an alternative resource of geopolymer mortar", *International Journal of Civil Engineering*, 1-10, 2016.
- [10] J. E. Waani dan E. Lintong, "Substitusi material pozolan terhadap semen pada kinerja campuran semen," *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.24, No.3:237-245, 2017.
- [11] D. Nindita, Pengujian sifat fisika dan sifat kimia pada trass sebagai bahan aditif semen, FMIPA UI, 2008.

- [12] J. J. Ekaputri dan Triwulan, "Sodium sebagai activator fly ash, trass dan lumpur sidoarjo dalam beton geopolimer", *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1) 1-9, 2013.
- [13] P. Risdanareni, J. J. Ekaputri, Triwulan, "The Influence of alkali activator concentration to mechanical properties of geopolymer concrete with trass as a filler," *Materials Science Forum*, 803 125-34, 2015.
- [14] ASTM C 618-08, Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete, ASTM International, 2008.
- [15] Antoni, S. W. Wijaya, D. Hardjito, "Factors affecting the setting time of fly ash-based geopolymer", trans tech public. msf.841.90, 2016.
- [16] U. Rattanasak dan P. Chindapasirt, "Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer", *Minerals Engineering*, 22(12) 1073-8, 2009.
- [17] ASTM C1437, Standard test method for flow of hydraulic cement mortar, ASTM Internasional, 2007.
- [18] ASTM C109/C109 Test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2 in. or [50mm]cube specimens)
- [19] K. Ghosh dan P. Ghosh, "Effect of  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  and W/B ratio on setting time and workability of fly ash based geopolymer", *International Journal of Engineering Research and Applications*, ISSN 2(4) 2142-2147, 2012.
- [20] A. Ilham, "Pengaruh sifat-sifat fisik dan kimia bahan pozolan pada beton kinerja tinggi", *Media Komunikasi Teknik Sipil* 13(3) 75-85, 2005.
- [21] S. E. Wallah, "Pengaruh perawatan dan umur terhadap kuat tekan beton geopolimer berbasis abu terbang", *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, Vol. 4 No. 1, 1-7, ISSN:2087-9334, Maret 2014.