

Pengaruh Penambahan Mikroba untuk Meningkatkan Kepadatan Pasta Berbahan *Fly Ash*

The Influence of Microbes Addition to Increase Performance of Fly Ash-Based Paste

Annisa Rahmadina^{1,a)} & Januarti Jaya Ekaputri^{1,b)}

¹⁾ Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Koresponden : ^{a)}annisarahma.jbr@gmail.com & ^{b)}januartije@gmail.com

ABSTRAK

Industri konstruksi membutuhkan inovasi bahan bangunan untuk memenuhi persyaratan ekologis dan ekonomi. Bahan bangunan inovatif dapat memberikan kontribusi besar bagi efisiensi sumber daya. Studi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan mikroba kedalam pasta berbahan *fly ash* yang dapat digunakan sebagai bahan alternatif bahan konstruksi bangunan. Mikroba yang digunakan merupakan jenis *sporosarcina pasteurii*. Volume mikroba yang ditambahkan 0-5000 ml/m³. Pasta tersebut dimanfaatkan sebagai bahan agregat buatan. Pengujian karakterisasi agregat yang dilakukan seperti berat jenis, resapan, keausan dan porositas. Hasil pengujian karakterisasi agregat buatan kemudian dibandingkan dengan agregat natural. Hasil penelitian menunjukkan pada umur 7 hari, kuat tekan pasta dengan penambahan volume mikroba maksimum memiliki kekuatan yang lebih tinggi dan pori yang rendah. Selain itu, berat jenis agregat buatan lebih ringan daripada berat jenis agregat agregat natural. Nilai penyerapan dan keausan agregat buatan ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan agregat natural. Pori yang lebih tinggi pada agregat buatan berdampak pada karakteristik agregat yang lebih rendah dibandingkan dengan agregat natural. Walaupun demikian, dibuktikan bahwa dari uji karakteristik, agregat buatan ini masuk dalam persyaratan dan dapat digunakan sebagai pengganti agregat natural.

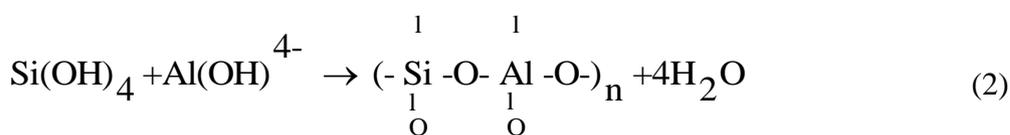
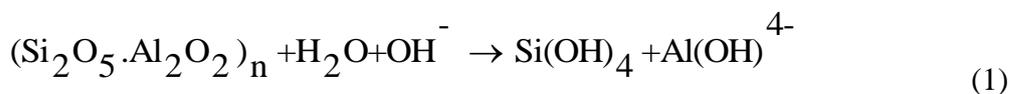
Kata Kunci : *fly ash*, mikroba, agregat buatan, manajemen aset infrastruktur

PENDAHULUAN

Bahan baku penting yang digunakan dalam pembuatan infrastruktur beton salah satunya adalah agregat kasar dan semen. Agregat kasar yang umum digunakan adalah batu pecah, kerikil dan sebagainya. Meningkatnya pertumbuhan pembangunan maka konsumsi agregat kasar dan semen yang digunakan juga semakin banyak terutama untuk pekerjaan konstruksi beton. Agregat kasar yang diambil dari alam lambat laun akan semakin berkurang apabila dikonsumsi dalam jumlah yang besar. Selain itu semen diketahui merupakan penyumbang polutan yang cukup besar dalam pencemaran udara seperti partikel debu dan penghasil CO₂, sehingga semen menjadi salah satu penyumbang terjadi *global warming*. Oleh karena itu, beton menjadi salah satu mata rantai pasok konstruksi infrastruktur yang harus diperhatikan. Pengelolaan infrastruktur yang efektif dan efisien memerlukan manajemen infrastruktur yang baik selama siklus hidupnya (Suprayitno & Soemitro, 2018)

Beberapa penelitian tentang material beton dan material perkerasan jalan sudah pernah dilakukan, Penelitian–penelitian tersebut mengenai pemakaian material tambahan bagi beton dan perkerasan aspal. (Abdulkdir & Muhammed, 2020; Abdul Kadir & Muhammed, 2021; Haruna, Muhamed & Wahab, 2020; Widiyanti et al, 2018; Widiyanti, et al 2019).

Pemanfaatan limbah dari hasil residu pembakaran batubara atau *fly ash* dapat diaplikasikan sebagai campuran agregat buatan. (Abdullah dkk, 2015). *Fly ash* dapat digunakan juga sebagai pengganti semen (Bahedh & Jaafar, 2018) yang masih mampu menghasilkan beton yang kuat, ekonomis, dan ramah lingkungan. *Fly ash* yang dihasilkan oleh pembangkit listrik memiliki jumlah yang sangat besar. Akan tetapi, hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan ke dalam beton. Seiring berjalannya waktu, *fly ash* dikembangkan untuk dijadikan bahan bangunan ringan. Sifat fisik dan kekuatan agregat buatan telah diuji (Cheeseman & Virdi, 2005; Wang dkk, 2002; Mangialardi, 2001). Selain itu, *fly ash* dapat diaplikasikan sebagai produk geopolimer atau campuran semen. Aplikasi dalam geopolimer memiliki banyak keunggulan seperti tahan terhadap api, tahan terhadap lingkungan korosif, tahan terhadap reaksi silika serta memiliki rangkai susut yang kecil (Škvára dkk, 2005; Rahmadina & Ekaputri, 2017; Ekaputri dkk, 2017). Istilah geopolimer secara umum digunakan untuk menggambarkan aluminosilikat alkali amorf yang dapat juga digunakan sebagai polimer anorganik, geo-semen, hidro-keramik dsb. (Singh dkk, 2015). Geopolimer pada dasarnya terdiri dari monomer silikat (-Si-O-Al-O). Berbagai bahan yang dapat digunakan sebagai campuran geopolimer seperti kaolin, *fly ash*, slag dsb. Sifat kereaktifan sumber aluminosilikat tersebut tergantung pada susunan kimia, komposisi mineral, dan kehalusan. Aktivator alkali diperlukan untuk mengaktifkan bahan aluminosilikat. Alkali aktivator yang digunakan seperti Natrium Hidroksida (NaOH), Kalium Hidroksida (KOH), Natrium Silikat (Na₂SiO₃), dan Kalium Silikat (K₂SiO₃) (Singh dkk, 2015). KOH memiliki alkalinitas yang lebih tinggi akan tetapi NaOH ditemukan memiliki kapasitas yang lebih baik dalam pembebasan monomer silikat dan aluminat (Duxson dkk, 2007). Proses geopolimerisasi dirumuskan pada reaksi (1) dan reaksi (2) secara berurutan (Singh dkk, 2015)



Hilda (2019) melakukan penelitian tentang agregat buatan geopolimer berbahan *fly ash*. Agregat buatan yang dibuat berasal dari pasta geopolimer dengan perbandingan *fly ash* terhadap alkali activator adalah 25:75, dengan rasio Na₂SiO₃/NaOH adalah 2,5:1. Hasil dari uji karakteristik pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa berat jenis tertinggi sebesar 1,87 gr/cm³ dan penyerapan sebesar 6,08%. Agregat buatan geopolimer relatif memiliki pori yang cukup besar (I Dewa dkk, 2019). Abdullah (2015) membandingkan sifat mekanik dari agregat buatan berbahan *fly ash* dengan agregat alami kerikil. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa agregat buatan geopolimer memiliki berat jenis yang lebih ringan yaitu 2,13 gr/cm³ sedangkan agregat alami memiliki berat jenis 2,7 gr/cm³. Kekuatan agregat buatan sedikit lebih tinggi yaitu 19,6% sedangkan kekuatan agregat alami 8,62%. Nilai kekuatan agregat ditentukan oleh persentase dari agregat hancur melewati saringan ukuran 2,36 mm. *Fly ash* yang memiliki struktur berpori memberikan nilai berat jenis yang rendah sedangkan kekuatan agregat yang lebih tinggi. Sehingga dapat disimpulkan agregat buatan berbahan *fly ash* kurang kuat dan mudah dihancurkan jika dibandingkan dengan agregat natural (Abdullah dkk, 2015). Kekuatan agregat tergantung pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan (Widayanti dkk, 2018). Resapan agregat buatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan agregat alami (Abdullah dkk, 2015; Ganesh dkk, 2011; Kockal & Ozturan, 2011). Jumlah pori – pori yang menyebabkan kepadatan beton ringan diduga sebagai tempat masuknya air sehingga meningkatkan kapasitas penyerapan air. Akan

tetapi agregat buatan berbahan *fly ash* tersebut dapat digunakan sebagai alternatif untuk agregat kasar.

Beberapa peneliti memanfaatkan mikroba atau bakteri ke dalam campuran pasta, mortar, dan beton. Seperti pada penelitian Sadath (2015) bakteri *Bacillus subtilis* dimanfaatkan sebagai campuran beton. Hasilnya adalah dengan adanya penambahan bakteri, sebagian pori – pori diisi oleh pengendapan materi kalsit. Pengurangan pori tersebut akan meningkatkan kekuatan beton (Sadath Ali, 2015; Dwi Wulandari dkk, 2018)

Pada makalah ini, pengaruh penambahan mikroba ke dalam pasta geopolimer berbahan *fly ash* (G) dan Semen tipe I mengandung *fly ash* (OF) yang akan dimanfaatkan sebagai agregat buatan. Pasta G dan OF diuji kuat tekan dan porositas, sedangkan karakteristik agregat diselidiki melalui pengujian berat jenis, keausan, dan resapan terhadap air. Karakteristik agregat buatan ini dibandingkan dengan agregat natural.

MATERIAL DAN METODE

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash*, alkali aktivator, semen dan mikroba. Bahan – bahan tersebut akan dimanfaatkan sebagai agregat buatan geopolimer (G) dan agregat buatan OF yang terbuat dari paste semen tipe I (OPC) yang mengandung *fly ash*.

Fly Ash

Dalam penelitian ini *fly ash* yang digunakan merupakan *fly ash* kelas F. Komposisi kimia dari *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Komposisi Kimia *Fly Ash*

No.	Parameter	Jumlah (% wt)
1	SiO ₂	44,83
2	Al ₂ O ₃	29,23
3	Fe ₂ O ₃	4,66
4	TiO ₂	0,84
5	CaO	4,47
6	MgO	1,62
7	Cr ₂ O ₃	0,01
8	K ₂ O	0,68
9	Na ₂ O	1,32
10	SO ₃	0,62
11	MnO ₂	0,09
12	P ₂ O ₅	0,25
13	LOI	11,38

Alkali Aktivator

Alkali aktivator yang digunakan terdiri dari dua macam yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na₂SiO₃). Larutan Natrium Hidroksida yang digunakan 8 Molar dengan perbandingan NaOH : Na₂SiO₃ adalah 1:2. Komposisi kimia Natrium Silikat disajikan di Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia Natrium Silikat (%)

Parameter	Hasil Analisa
Na ₂ O	18.5
SiO ₂	36.4
H ₂ O	45.1

Semen

Semen yang digunakan merupakan semen tipe I atau *Ordinary Portland Cement* (OPC). Semen OPC digunakan dalam penelitian ini karena tidak mengandung material pozzolan.

Mikroba

Pada penelitian ini mikroba yang digunakan merupakan jenis *Sporosarcina pasteurii*. Mikroba berasal dari bahan komersial dapat langsung diaplikasikan pada benda uji pasta. Pemilihan mikroba disesuaikan dengan penelitian sebelumnya (Dwi Wulandari dkk, 2018).

Variasi Benda Uji dan Metode Pengujian

Terdapat dua jenis pasta yang digunakan yaitu pasta geopolimer (G) dan pasta OPC-*Fly ash* (OF). Mikroba dicampurkan ke dalam pasta mulai bervariasi sampai 5000 ml/m³. Proporsi campuran pasta disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Benda Uji Beton

Variasi	Alkali	<i>Fly ash</i>	OPC	FAS	Mikroba
	Aktivator				
	%	%	%	%	ml/m ³
G0	25	75	-	-	0
G400	25	75	-	-	400
G1000	25	75	-	-	1000
G2500	25	75	-	-	2500
G5000	25	75	-	-	5000
OF5000	-	50	50	0,3	5000

Pasta G dan pasta OF dicetak menggunakan silinder dengan diameter 5 cm dan tinggi 10 cm. Perawatan terhadap benda uji ini menggunakan *moist curing* atau ditutup dengan kain basah selama 28 hari. Benda uji pasta dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Benda Uji Silinder Pasta

Pengujian pada silinder pasta meliputi, uji kuat tekan (ASTM C 39) dan uji porositas (AFNOR NF B 49104). Sedangkan untuk agregat buatan maupun natural akan dilakukan uji berat jenis, resapan (ASTM C 127), keausan (ASTM C131) dan. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

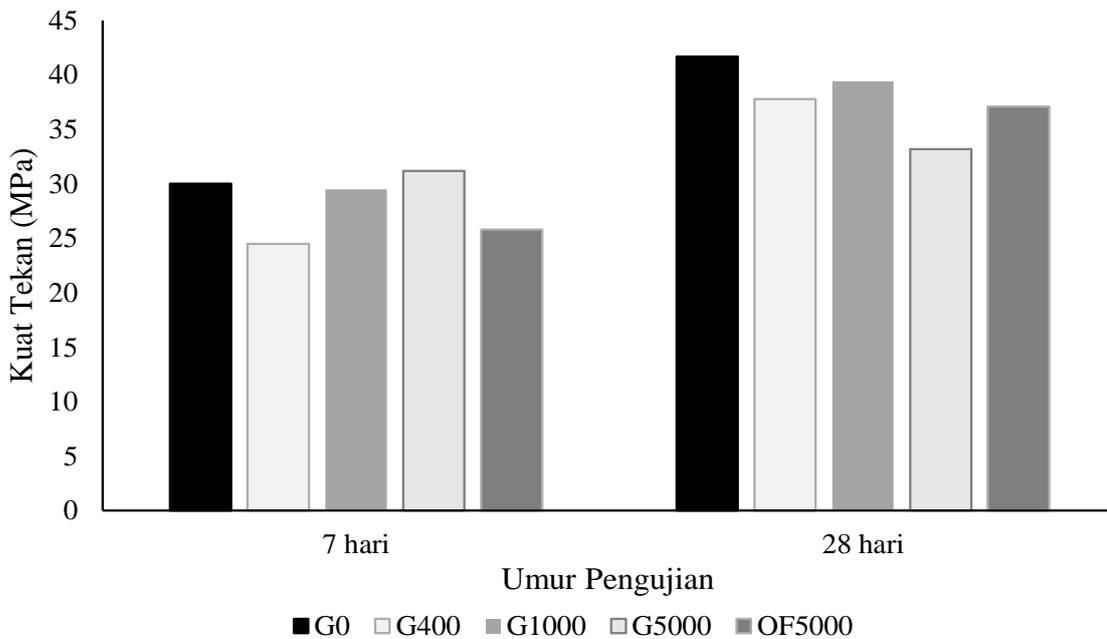
ANALISIS PENELITIAN

Analisa Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan ASTM C39. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan mikroba terhadap kuat tekan pasta umur 7 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan yang diambil adalah rerata dari 3 benda uji silinder dari variasi yang sama. hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Kuat Tekan Silinder Pasta

Variasi	Kuat Tekan (MPa)	
	7 hari	28 hari
G0	30	41.7
G400	24.5	37.8
G1000	29.5	39.4
G2500	28.7	tidak dilakukan
G5000	31.6	33.04
OF5000	25.8	37.09



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan Silinder Pasta

Dari hasil pengujian kuat tekan pasta Gambar 2, dapat diketahui pada umur 7 variasi G5000 memiliki kuat tekan yang lebih tinggi yaitu 31,6 MPa dari pada variasi pasta lainnya. Pada umur 28 hari kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi G0 yaitu sebesar 41,7 MPa. Hal ini menunjukkan di umur awal (7 hari) keberadaan mikroba memberikan peningkatan kekuatan, akan tetapi memperlambat kenaikan kuat tekan pada umur 28 hari (Chidara dkk, 2014). Kenaikan kuat tekan yang terjadi hanya sebesar 2 MPa. Pori yang terdapat dalam pasta geopolimer memberikan ruang agar bakteri mampu mengendapkan kalsium karbonat (Dwi Wulandari dkk, 2018). Pasta G5000 mengalami kenaikan kekuatan yang kurang signifikan diduga karena pasta geopolimer dengan kandungan alkali aktivator : *fly ash* 25 : 75 dengan NaOH 8M tidak memiliki cukup pori untuk tempat mikroba melakukan presipitasi kalsium karbonat. Sesuai dengan penelitian Wulandari 2018 (Dwi Wulandari dkk, 2018) campuran

pasta alkali aktivator : *fly ash* sebesar 35 : 65 dengan NaOH 4 Molar terjadi peningkatan kuat tekan geopolimer berbasis bakeri karena mempunyai pori yang lebih banyak.

Analisa Berat Jenis, Keausan dan Resapan Agregat

Agregat kasar buatan berasal dari pasta geopolimer dan pasta OPC-*fly ash* yang mengandung mikroba. Agregat buatan ini harus diuji dan disesuaikan dengan peraturan ASTM mengenai persyaratan agregat pada umumnya. Pasta berumur 28 hari dipecahkan dengan mesin *crusher* (Gambar 3a). Ukuran pecahan agregat buatan berkisar antara 1 sampai 0,5 cm. Hasil agregat buatan dapat dilihat pada Gambar 3b.



Gambar 3. Proses *crushing* pasta b. Agregat

Berat jenis, resapan dan keausan agregat buatan akan dibandingkan dengan agregat natural. Hasil dari pengujian analisa beberapa agregat dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Hasil Uji Berat Jenis, Keausan dan Resapan Agregat

Variasi	Berat Jenis gr/cm ³	Keausan %	Resapan %
G400	1,99	31,3	14,50
G1000	2,02	31,34	16,00
G5000	1,99	29,70	18,50
OF5000	1,98	32,00	12,00
Natural	2,70	25,40	1,08

Berdasarkan hasil analisa yang merujuk ASTM C127 diperoleh rata-rata berat jenis agregat kasar natural sebesar 2,7 gr/cm³ dan angka rata-rata penyerapan air sebesar 1,08%. Jika dibandingkan dengan agregat kasar buatan, berat jenis agregat kasar buatan lebih rendah dan penyerapan airnya lebih tinggi daripada agregat kasar natural. Penambahan volume mikroba tidak berpengaruh signifikan terhadap berat jenis agregat kasar buatan yaitu 1,98 – 2,02 gr/cm³. Pada penelitian Wulandari dkk. (2018) pasta geopolimer dengan penambahan volume *healing agent* sebesar 400 ml/m³ dengan perbandingan *fly ash*: alkali aktivator 65% : 35% dan konsentrasi NaOH 4M berat jenis agregat buatan dihasilkan sebesar 1,84 gr/cm³. Walaupun berat jenis pada studi ini sedikit lebih besar daripada Wulandari dkk, akan tetapi mempunyai tren yang sama. Struktur agregat yang berpori akan memiliki rongga udara yang mengakibatkan berat jenis rendah (Kockal & Ozturan, 2011)

Penyerapan agregat buatan lebih besar daripada agregat kasar natural. Hal ini sejalan dengan hasil yang didapatkan dari penelitian lain dari agregat berbahan geopolymer (Abdullah dkk, 2015). Ini membuktikan bahwa agregat buatan memiliki lebih banyak pori jika dibandingkan dengan agregat natural. Keausan yang didapat dari variasi mikroba tersebut berkisar 29-32%. Agregat buatan OPC-fly ash memiliki nilai keausan 1-3% lebih tinggi daripada keausan agregat kasar geopolimer. Penambahan volume mikroba hanya sedikit berpengaruh pada nilai keausan agregat. Nilai keausan agregat memiliki selisih 2% pada volume mikroba yang lebih rendah. Pada ASTM C33 persyaratan minimum nilai keausan agregat kasar yaitu sebesar 50%, dan hasil dari pengujian keausan pada penelitian ini berkisar 29-32%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai keausan agregat kasar G dan OF pada penelitian ini masuk dalam persyaratan ASTM C33 dan dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar natural

Pengujian XRD

Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk memberikan informasi tentang prosentase suatu senyawa dari material. Pengujian XRD dilakukan terhadap G5000 dan OF5000. Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. XRD Mineral G5000

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
1	Quartz, syn	SiO ₂	74
2	Silimanite, high, dialuminum silicate oxide	Al ₂ SiO ₅	13
3	Calcium oxide	CaO	3
4	Al ₁₄ Mg ₁₃	Al ₁₄ Mg ₁₃	11

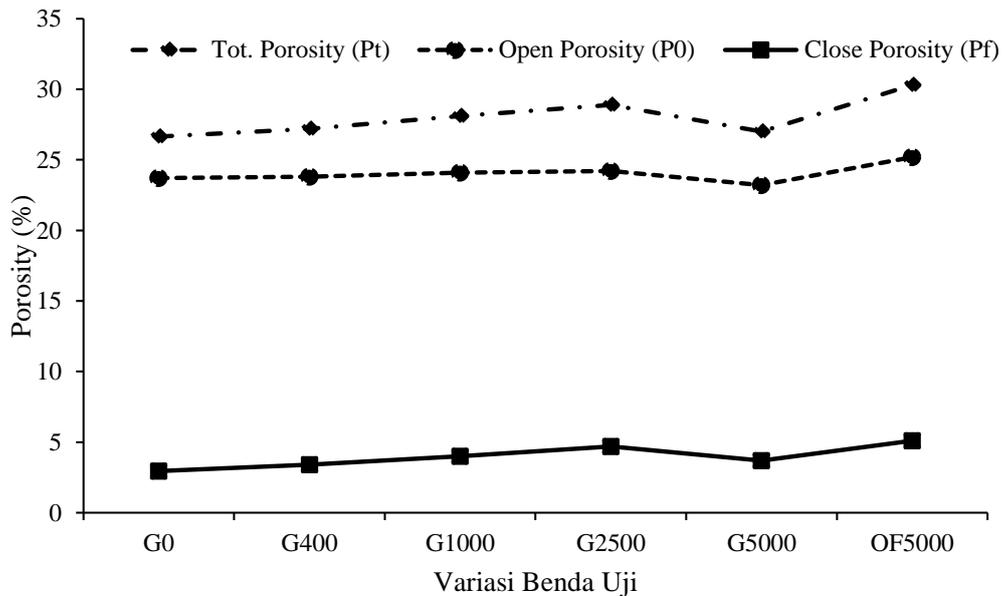
Tabel 7. XRD Mineral OF5000

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
1	calcite high	Ca(CO ₃)	29
2	Quartz low, syn	SiO ₂	33
3	Magnesium Oxide	MgO	5
4	Aluminum Oxide	Al ₂ O ₃	3
5	Calcium Hydroxide	Ca(OH) ₂	8.9

Hasil pengujian XRD menunjukkan adanya kalsit (CaCO₃) pada campuran pasta OPC-fly ash. Namun, pada pasta geopolimer tidak ditemukan adanya kalsit. Kalsit yang diproduksi secara mikrobiologis bertanggung jawab mengisi celah-celah pori. Pengurangan pori karena pertumbuhan bahan tersebut akan membuat beton menjadi tahan lama (Sadath Ali, 2015). Proses pengendapan kristalisasi dimulai di tengah koloni bakteri. Formasi CaCO₃ amorf dapat dikaitkan dengan koloni bakteri. Permukaan mikroba menyediakan kerangka kerja untuk proses pematangan kristal (Park dkk, 2010; Hammes dkk, 2003) menunjukkan bahwa presepatasi terjadi pada permukaan koloni bakteri. Kandungan pozzolan yang terdapat di dalam fly ash berikatan dengan CaOH₂ yang merupakan produk hidrasi semen yang membentuk gel kalsium silikat hidrat baru. Kalsit tambahan juga terbentuk pada pasta semen karena CaOH₂ dari hasil hidrasi semen akan berikatan dengan CO₂ di udara (Manso dkk, 2015)

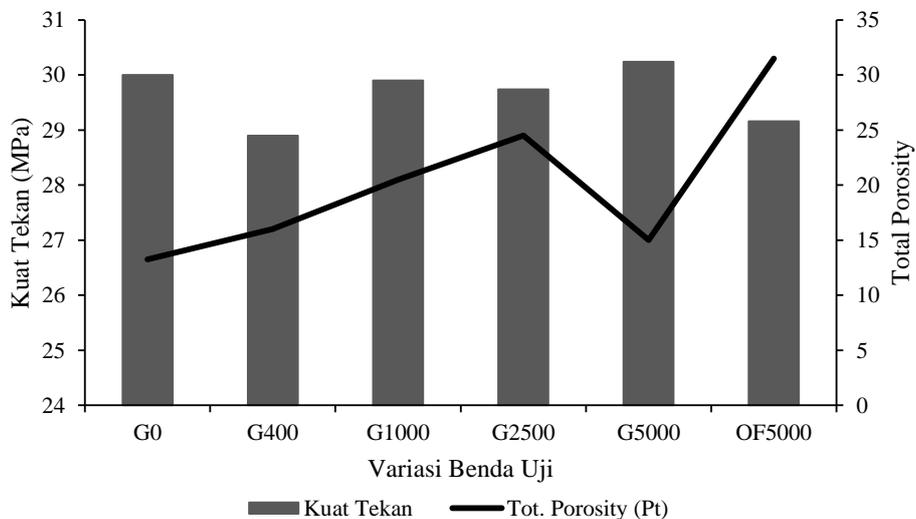
Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan pada pasta umur 7 hari. Hasil porositas diambil dari hasil rata-rata dua sampel uji. Sampel diambil dari benda uji yang sama. Porositas yang didapatkan berupa porositas total, terbuka dan tertutup. Porositas terbuka memiliki pori yang dapat ditembus oleh air dan udara sehingga bersifat permeabel. Sedangkan porositas tertutup memiliki pori yang bersifat *impermeabel* yang tidak dapat ditembus (Ekaputri & Triwulan, 2013). Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pengujian Porositas

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa porositas terbesar terjadi pada pasta OF5000 sebesar 30%. Sementara itu, porositas pasta geopolimer G5000 memiliki nilai pori yang rendah jika dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu sebesar 27%. Pori yang terjadi pada pasta geopolimer cenderung lebih rendah. Pori tertutup karena proses geopolimerisasi (Mustafa dkk, 2011). Pada Gambar 5 juga membuktikan bahwa penurunan kuat tekan yang terjadi pada pasta salah satunya karena nilai pori yang cukup tinggi.



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan dan Porositas

Pada umur 7 hari variasi G5000 menunjukkan kuat tekan tertinggi dan nilai pori paling rendah jika dibandingkan dengan variasi lainnya. Semakin besarnya nilai pori yang terjadi pada pasta akan mengakibatkan penurunan kuat tekan begitu pula sebaliknya pori yang semakin sedikit akan meningkatkan kuat tekan pasta. Pada umur 7 hari terjadi pemadatan atau pengisian pori – pori oleh mineral hasil dari proses mikrobiologis mikroba (Sadath Ali, 2015). Selain itu pori dapat tertutup karena proses geopolimerisasi setelah pencampuran *fly ash* dengan alkali aktivator (Mustafa dkk, 2011).

KESIMPULAN

Penelitian singkat ini menghasilkan beberapa pokok kesimpulan yang disampaikan sebagai berikut :

1. Penambahan mikroba yang dimasukkan ke dalam pasta geopolimer tidak mempengaruhi berat jenis pasta geopolimer. Variasi penambahan mikroba 400 ml/m³, 1000 ml/m³, 2500 ml/m³ dan 5000 ml/m³ memiliki nilai berat jenis yang relatif sama.
2. Kekuatan tekan dipengaruhi oleh porositas pasta berbahan *fly ash*
3. Walaupun memiliki nilai penyerapan yang tinggi, hasil pengujian keausan menunjukkan nilai yang memenuhi persyaratan, yaitu kurang dari 50%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat buatan berbahan *fly ash* dan mikroba berpotensi untuk diaplikasikan sebagai pengganti agregat natural.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Amirul, K., Ku, R., Mustafa, M., Bakri, A., Hussin, K., & Tran, M. Van. (2015). “Comparison of Mechanical Properties of Fly Ash Artificial Geopolymer Aggregates with Natural Aggregate”. *Applied Mechanics and Materials*, 754–755(4), 290–295.
- Abdulkadir, I. & Muhammed, B.S (2020). “Effect of Waste Tire Rubber on the Durability Behavior of Cement Composite: A Review”. *Journal of Infrastructure & Facility Asset Management - JIFAM 2 (Sup 1) 21-34 December 2020*.
- Abdulkadir, I & Muhammed, B.S (2021). “Modelling and Optimization of the Compressive Strength of High Volume Fly Ash ECC with Low Modulus PVA fibre Vising Response Surface Methodology (RSM)”. *Journal of Infrastructure & Facility Asset Management - JIFAM 3(1) April 2021 : 41 -58*.
- Bahedh, M. A. & Jaafar, M. S. (2018). “Ultra High-Performance Concrete Utilizing Fly Ash as Cement Replacement under Autoclaving Technique”. *Case Studies in Construction Materials*, 202, 1–20.
- Cheeseman, C. R. & Virdi, G. S. (2005). “Properties and Microstructure of Lightweight Aggregate Produced from Sintered Sewage Sludge Ash”. *Resources, Conservation and Recycling*, 45(1), 18–30.
- Chidara, R., Nagulagama, R. & Yadav, S. (2014). “Achievement of Early Compressive Strength in Concrete Using *Sporosarcina pasteurii* Bacteria as an Admixture”. *Advances in Civil Engineering*, 2014.
- Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A. & Van Deventer, J. S. J. (2007). “Geopolymer Technology: The Current State of the Art”. *Journal of Materials Science*, 42(9), 2917–2933.
- Dwi Wulandari, K., Jaya Ekaputri, J., Triwulan, Fujiyama, C. & Setiamarga, D. H. E. (2018). “Effects of Microbial Agents to The Properties of Fly Ash-Based Paste”. *MATEC Web of Conferences*, 195, 1–7.
- Ekaputri, J., & Triwulan, T. (2013). “Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash, Trass Dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer”. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 20(1), 1–10.

- Ganesh, M., Division, G. E., Sciences, B., & Leader, D. (2011). "Experimental Study on Cold Bonded Fly Ash Aggregates". *International Journal Of Civil And Structural Engineering*, 2(2), 493–501.
- Hammes, F., Boon, N., De Villiers, J., Verstraete, W., & Siciliano, S. D. (2003). "Strain-Specific Ureolytic Microbial Calcium Carbonate Precipitation". *Applied and Environmental Microbiology*, 69(8), 4901–4909.
- Haruna, S., Muhammed, B.S. & Wahab M.A. (2020). "Effect of GGBS Slag on setting Time and Compressive Streng of One – Part Geopolymer Binders". *Journal of Infrastructure & Facility Asset Management - JIFAM 2(2) September 2020 : 149-160*".
- Hilda Yuliana, A., Dewa Made Alit Karyawan, I., Murtiadi, S., Ekaputri, J. J., & Ahyudanari, E. (2019). "The Effect of Slope Granulator on The Characteristic of Artificial Geopolymer Aggregate Used in Pavement". *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(3), 1466–1481.
- I Dewa, M. A. K., Januarti, J. E., Iswandar, W. & Ervina, A. (2019). "The Effects of $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Ratios on The Volumetric Properties of Fly Ash Geopolymer Artificial Aggregates". *Materials Science Forum*, 967, 228–235.
- Jaya Ekaputri, J., Syabrina Mutiara, I., Nurminarsih, S., Van Chanh, N., Maekawa, K. & Setiamarga, D. H. E. (2017). "The Effect of Steam Curing on Chloride Penetration in Geopolymer Concrete". *MATEC Web of Conferences*, 138.
- Kockal, N. U. & Ozturan, T. (2011). "Durability of Lightweight Concretes with Lightweight Fly Ash Aggregates". *Construction and Building Materials*, 25(3), 1430–1438.
- Mangialardi, T. (2001). "Sintering of MSW Fly Ash for Reuse as a Concrete Aggregate". *Journal of Hazardous Materials*, 87(1–3), 225–239.
- Manso, S., Calvo-torras, M. Á., Belie, N. De, Segura, I. & Aguado, A. (2015). "Science of the Total Environment Evaluation of Natural Colonisation of Cementitious Materials: Effect of Bioreceptivity and Environmental Conditions". *Science of the Total Environment, The*, 512–513, 444–453.
- Mustafa, A. M., Bakri, A., Kamarudin, H., Bnhussain, M., Nizar, I. K., Rafiza, A. R. & Zarina, Y. (2011). "Microstructure of Different NaOH Molarity of Fly Ash-Based Green Polymeric Cement". *Journal of Engineering and Technology Research*, 3(2), 44–49.
- Park, S. J., Park, Y. M., Chun, W. Y., Kim, W. J. & Ghim, S. Y. (2010). "Calcite-Forming Bacteria for Compressive Strength Improvement in Mortar". *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(4), 782–788.
- Rahmadina, A. & Ekaputri, J. J. (2017). "Mechanical Properties of Geopolymer Concrete Exposed to Combustion". *MATEC Web of Conferences*. 138, 1-10.
- Sadath Ali, M. K. (2015). "Self Healing Concrete and Asphalt". *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 2(16), 27–33.
- Singh, B., Ishwarya, G., Gupta, M. & Bhattacharyya, S. K. (2015). "Geopolymer Concrete: A Review of Some Recent Developments". *Construction and Building Materials*, 85, 78–90.
- Škvára, F., Jílek, T. & Kopecký, L. (2005). "Geopolymer Materials Based on Fly-Ash". *Ceramics - Silikaty*, 49(3), 195–204.
- Suprayitno, H., & Soemitro, R.A.A. (2018). "Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas – JMAIF 2(1): 1–10 Maret, 2018*.
- Wang, K. S., Sun, C. J., & Yeh, C. C. (2002). "The Thermotreatment of MSW Incinerator Fly ash for Use as an Aggregate: A Study of The Characteristics of Size-Fractioning". *Resources, Conservation and Recycling*, 35(3), 177–190.

- Widayanti, A., Soemitro, R.A.A, Ekaputri, J. J. & Suprayitno, H. (2018). “Kinerja Campuran Aspal Beton dengan Reclaimed Asphalt Pavement dari Jalan Nasional di Provinsi Jawa Timur”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas - JMAIF 2(1), Marc 2020* :35–43.
- Widayanti, A., Soemitro, R.A.A, Ekaputri, J.J & Suprayitno, H. (2019). “Gradation Analysis of Reclaimed Asphalt Pavement from National Road as Asphalt Concrete Layer”. *Journal of Infrastructure & Facility Asset Management - JIFAM 1(1) March 2019*.

