

Durabilitas Geopolymer Foam concrete Terhadap Ketahanan Sulfat

Debby Sinta Devi¹⁾, Marguan Fauzi²⁾, Belliana Syafitri³⁾, Agung Laksono⁴⁾,

^{1), 2)} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri

^{3, 4)} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri

Jl. Jend. Sudirman No.Km.4 No. 62, 20 Ilir D. IV, Kec. Ilir Tim. I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30129

Email : debbysintadevi@uigm.ac.id¹⁾

ABSTRACT

Geopolymer is an inorganic polymer material which is rich in silica and alumina and undergoes a polymerization process. Geopolymer concrete is an innovative concrete by replacing some cement binders with industrial waste such as fly ash. In addition, the manufacture of foam concrete is widely used in industrial building construction, especially in the walls of earthquake buildings and energy-efficient buildings. Geopolymer foam concrete is a modification of geopolymer concrete with foam concrete. Geopolymer foam concrete is made by combining a geopolymer mixture in the form of a 14 Molar solution of NaOH and Na₂SiO₃ as an activator with a ratio of 2.5 and fly ash as a precursor, then adding foam formed from a foaming agent and water with a ratio of 1:20, 1:30, 1:40. The quality of the foam used in the mix for making concrete affects the specific gravity, compressive strength and durability of geopolymer foam concrete. The purpose of this study was to determine the structural ability of geopolymer foam concrete against environmental conditions exposed to sulfate by using several variations in the ratio of foaming agent and water. The results of the endurance test showed that the specimen after being exposed to sulfuric acid for 56 days had a decrease in the mass of the test object for the ratios of foaming agent and water 1:20, 1:30, 1:40 which were 7.64%, 7.90% and 8.56 %. The ratio of foaming agent and water in the manufacture of smaller foam indicates better specific gravity, compressive strength and durability against sulfate attack.

Keywords : Geopolymer, fly ash, foam concrete, durability, sulfat acid

ABSTRAK

Geopolimer merupakan material polimer anorganik yang kaya akan silika dan alumina dan mengalami proses polimerisasi. Beton geopolimer adalah beton inovasi dengan mengganti sebagian bahan pengikat semen dengan limbah industri seperti fly ash. Selain itu, pembuatan beton busa banyak digunakan dalam konstruksi bangunan industri, terutama pada dinding bangunan gempa dan bangunan hemat energi. Geopolymer foam concrete merupakan modifikasi dari beton geopolimer dengan beton busa. Geopolymer foam concrete dibuat dengan menggabungkan campuran geopolimer berupa larutan 14 Molar NaOH dan Na₂SiO₃ sebagai aktivator dengan rasio perbandingan 2,5 dan fly ash sebagai prekursor, kemudian menambahkan busa yang terbentuk dari foaming agent dan air dengan rasio perbandingan 1:20, 1:30, 1:40. Kualitas busa yang digunakan dalam campuran pembuatan beton mempengaruhi berat jenis, kuat tekan dan durabilitas geopolymer foam concrete. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan struktur geopolymer foam concrete terhadap kondisi lingkungan terpapar sulfat dengan menggunakan beberapa variasi rasio foaming agent dan air. Hasil uji ketahanan menunjukkan bahwa spesimen setelah terpapar asam sulfat selama 56 hari memiliki penurunan massa benda uji untuk rasio foaming agent dan air 1:20, 1:30, 1:40 adalah sebesar 7,64%, 7,90% dan 8,56%. Rasio foaming agent dan air pada pembuatan busa yang lebih kecil menunjukkan berat jenis, kuat tekan dan durabilitas yang lebih baik terhadap serangan sulfat.

Kata Kunci: Geopolimer, fly ash, beton busa, durabilitas, asam sulfat

1. Pendahuluan

Inovasi beton sebagai bahan pembentuk konstruksi terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Beton terus diupayakan sebagai material yang berkelanjutan untuk mendukung konsep *green building* (Devi, 2022). Beton secara umum dibentuk dengan menggunakan material bahan pengikat berupa semen, bahan pengisi berupa agregat, baik yang halus maupun kasar serta air secara homogen (Fauzi, 2020).

Beton geopolimer merupakan beton yang diperkenalkan oleh Davidovits dengan menggunakan bahan dengan kandungan utama berupa mineral SiO_2 dan Al_2O_3 yang tinggi dan memiliki fasa *amorphous* reaktif (Chandra, 2021). *Fly ash* sebagai bahan pozzolan yang dapat digunakan untuk pengganti semen dapat membawa manfaat ekonomis dan keberlanjutan pada konstruksi beton (Nawaz, 2020).

Fly ash adalah abu batu bara berupa partikel halus berukuran mikrometer. *Fly ash* dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen pada pembuatan beton geopolimer (Sunagar, 2021). Beton dirancang untuk memiliki kemampuan bertahan terhadap kondisi lingkungan seperti cuaca dan serangan kimiawi. Kerusakan beton yang terjadi adalah akibat hasil interaksi material penyusun dengan lingkungan eksternal. Bahan geopolimer memiliki durabilitas yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan yang terpapar asam polimer anorganik karena diperoleh dari hasil sintesa alumina dan silika yang tidak mudah langsung bereaksi dengan senyawa asam.

Durabilitas adalah kemampuan sebuah struktur untuk bertahan terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya, seperti adanya serangan kimiawi tanpa mengalami perubahan pada karakteristik beton. Beton geopolimer memiliki ketahanan yang baik dan tidak terpengaruh oleh serangan Sulfat dengan tidak tampak tanda-tanda kerusakan setelah direndam dalam larutan sulfat hingga 90 hari (Ghaniem, 2022).

Berkurangnya ketahanan beton dapat disebabkan oleh pengaruh fisik seperti pelapukan oleh kondisi cuaca, perubahan temperatur yang drastis seperti mencair dan membeku, serangan kimiawi seperti serangan asam, serta korosi pada baja tulangan didalam beton. Besarnya permeabilitas beton akibat retak tersebut, menyebabkan besarnya penetrasi serangan ion kimia yang agresif masuk ke dalam material beton tersebut, hingga merusak dan mencapai permukaan beton. Serangan asam pada ikatan kalsium silikat dan kalsium aluminat pada beton normal terjadi pada tingkat yang lebih cepat daripada penghancuran ikatan aluminosilikat dalam beton geopolimer. Kondisi tersebut melemahkan spesimen beton karena paparan asamnya dari waktu ke waktu, menyebabkan perubahan bentuk dan terjadi retak (Wong, 2022).

Salah satu teknologi yang terus berkembang adalah penggunaan beton ringan agar dapat mereduksi berat bangunan. Beton busa atau *foamed concrete* sebagai salah satu jenis beton ringan yang dapat mendukung konstruksi agar beradaptasi dengan daerah berpotensi gempa. *Density* beton ringan berkisar 300-1600 kg/m^3

(Kozlowski, 2018). Terdapat beberapa cara untuk memperoleh beton ringan yaitu menambahkan bahan tambah berupa busa ke dalam campuran beton sehingga membentuk pori dalam beton.

Beton busa dapat menghambat panas yang lebih baik dan memiliki kedap suara sehingga baik digunakan untuk kebutuhan struktural maupun non struktural (Rommel, 2017). Beton busa geopolimer memiliki kemampuan mengalir tinggi, berat jenis ringan, dan penggunaan agregat yang minimum serta dapat menghambat panas yang lebih baik. *Foaming agent* merupakan bahan sintesis pembentuk busa. Sifat beton busa dipengaruhi oleh kualitas busa yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Syahrul, 2022 mengenai karakteristik beton ringan menggunakan *foam agent (sodium lauryl sulfate)* sebagai busa menggunakan rasio foaming agent dan air 1:40 menghasilkan berat jenis rata-rata 1355 kg/m^3 , sehingga masuk dalam kategori sebagai beton ringan. Berat jenis beton berkurang sebesar 43% dari berat jenis beton normal. Kekuatan tekan beton ringan yang dihasilkan sebesar 5,702 MPa.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian durabilitas beton dilakukan terhadap beton busa geopolimer dengan menggunakan beberapa variasi rasio *foaming agent* dan air dalam pembuatan busa.

2. Pembahasan

Hasil Pengujian *Slump Flow*

Pengujian *slump* dilakukan pada benda uji dalam keadaan segar agar mengetahui *workability* beton dengan mengukur diameter benda uji segar menggunakan cincin leleh diatas *flow table*. Pengujian *slump flow* berdasarkan standar ASTM C124. Rata-rata diameter beton segar ditinjau dari 4 sisi saat pengujian *slump flow* pada rasio penggunaan *foaming agent* dan air 1:20, 1:30, 1:40 yaitu sebesar 22,1 cm, 23,2 cm, dan 23,6 cm. Penggunaan rasio *foaming agent* dan air yang lebih kecil menyebabkan campuran mortar segar bersifat lebih kental. Penggunaan *foaming agent* yang lebih sedikit pada rasio 1:40 dalam pembuatan *foam* membuat busa menjadi kurang stabil dan banyak mengandung udara sehingga menghasilkan pengurangan kerapatan dan membentuk banyak pori.

Hasil Pengujian *Setting Time*

Pengujian waktu ikat beton dilakukan selama rentang waktu selama 15 menit sekali hingga beton mulai mengeras. Pengujian *setting time* menggunakan alat berupa jarum vicat. Pengujian dilakukan hingga jarum tidak dapat melakukan penetrasi pada beton segar. Hasil pengujian waktu ikat beton dengan beberapa rasio *foaming agent* dan air dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Setting time geopolymer foam concrete*

Rasio <i>Foaming agent</i> dan air	<i>Initial time</i>	<i>Final Time</i>
1:20	1259 menit	1566 menit
1:30	1334 menit	1606 menit
1:40	1342 menit	1612 menit

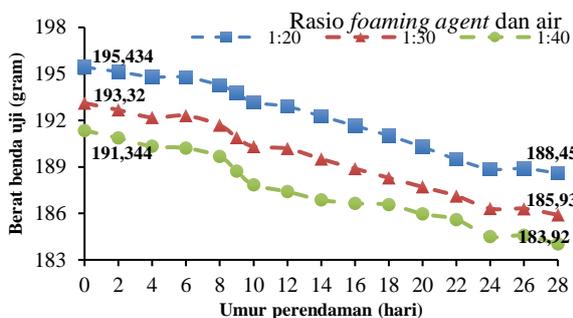
Berdasarkan Tabel 1. menunjukkan bahwa dengan penggunaan rasio *foaming agent* dan air yang lebih tinggi menyebabkan semakin lamanya *initial time* dan *final time*. Waktu ikat awal pada rasio 1:20 selama 1259 menit dan waktu ikat akhir 1566 menit. Pada rasio *foaming agent* dan air yang lebih kecil menunjukkan beton cepat mengeras sedangkan pada rasio 1:40 beton lebih lama untuk mengeras.

Durabilitas

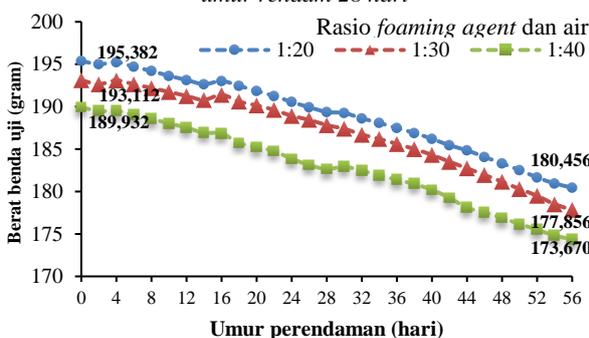
Kemampuan bertahan beton geopolimer terhadap perubahan kondisi lingkungan lebih baik dibandingkan beton tanpa menggunakan material geopolimer. Penggunaan beton pada lingkungan yang agresif membuat material pada beton dapat mengalami kegagalan pada fisik dan kimiawi, sehingga dapat muncul tanda kerusakan seperti adanya retak dan porositas. Pengujian ketahanan beton atau dapat bertujuan untuk mengetahui keawetan beton dalam menghadapi berbagai kondisi lingkungan di sekitarnya. Uji ketahanan beton dilakukan dengan melakukan perendaman sampel ke dalam larutan sulfat selama 28 dan 56 hari dengan cara sistem basah dan kering dan dengan merendam 100% struktur beton di dalam larutan. Konsentrasi asam sulfat yang digunakan untuk perendaman adalah sebesar 5%.

Penurunan Massa (Mass Loss)

Penurunan massa benda uji terjadi setelah melalui proses perendaman menggunakan larutan asam sulfat. Benda uji mengalami pengurangan masa dikarenakan beton menyerap asam sulfat dan menyebabkan terjadinya keropos. Hasil pengujian perubahan massa benda uji setelah direndam larutan sulfat yang dilakukan setiap hari selama 28 hari ditunjukkan pada Gambar 1 selama 56 hari ditunjukkan pada Gambar 2.

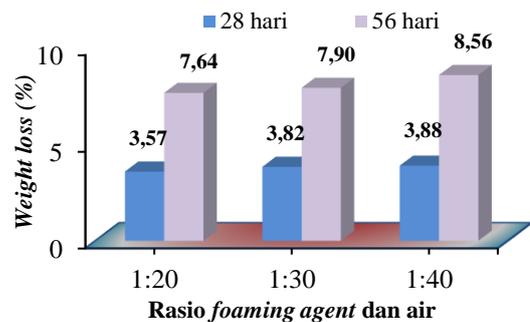


Gambar 1. Berat beton dengan rasio foaming agent dan air umur rendam 28 hari



Gambar 2. Berat beton dengan rasio foaming agent dan air umur rendam 56 hari

Massa beton mengalami penurunan dikarenakan larutan asam sulfat menembus masuk dan menyerap ke bagian permukaan hingga kebagian dalam beton dan berpengaruh terhadap komponen struktur sehingga berat beton menjadi lebih ringan dari sebelumnya. Untuk mengetahui kadar kehilangan massa benda uji dilakukan perhitungan untuk umur rendam 28 hari dan 56 hari. Persentase *weight loss* benda uji setelah dilakukan perendaman asam sulfat baik selama 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 3.

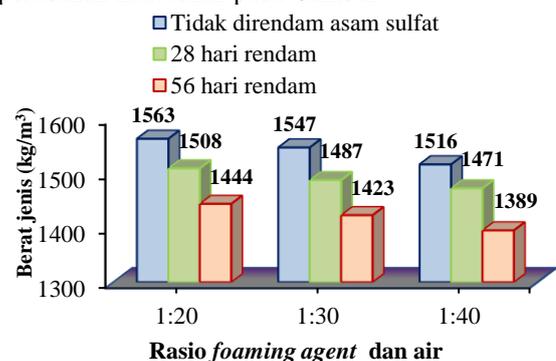


Gambar 3. Persentase kehilangan massa dengan rasio foaming agent dan air

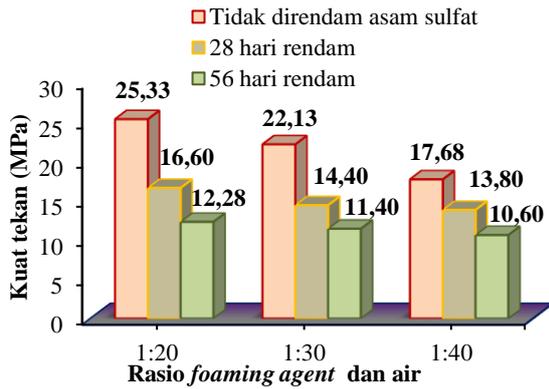
Kehilangan massa terbesar *geopolymer foam concrete* pada Gambar 2.3. adalah sebesar 3,88 % setelah direndam asam sulfat selama 28 hari. Sedangkan persentase kehilangan massa terbesar untuk umur 56 hari adalah 8,56%. Kehilangan massa benda uji mengalami peningkatan seiring dengan lamanya umur perendaman dengan menggunakan larutan asam sulfat. Penggunaan rasio *foaming agent* dan air yang lebih rendah menunjukkan pengurangan massa benda uji yang lebih sedikit. Penggunaan kadar *foaming agent* yang lebih banyak pada rasio 1:20 membuat busa dibentuk lebih padat dan stabil sehingga membuat beton yang dihasilkan menjadi lebih padat dan mengurangi kemungkinan benda uji menyerap lebih banyak larutan sulfat.

Hasil Perubahan Berat Jenis dan Kuat Tekan

Beton akan mengalami perubahan berat jenis dan kuat tekan setelah melalui proses perendaman menggunakan asam sulfat. Selain itu benda uji akan mengalami perubahan kekuatan tekan dikarenakan pengurangan berat dan terdapat porositas. Berikut hasil pengujian berat jenis terdapat pada Gambar 4. dan perubahan kuat tekan pada Gambar .



Gambar 4. Berat jenis beton setelah melalui perendaman



Gambar 5. Kuat tekan beton setelah melalui perendaman

Berat jenis *geopolymer foam concrete* setelah direndam sulfat lebih rendah dibandingkan benda uji yang tidak direndam dengan asam sulfat. Perubahan tersebut dapat terlihat pada Gambar 2.5. Hasil berat jenis benda uji yang tidak direndam sebesar 1563 kg/m³ pada rasio 1:20. Setelah perendaman selama 56 hari rendam terjadi penurunan berat jenis menjadi sebesar 1508 kg/m³ dan 1444 kg/m³. Sedangkan Gambar 2.5 menunjukkan bahwa hasil uji kuat tekan beton yang belum direndam sebesar 25,33 MPa. setelah direndam asam sulfat 28 hari pada rasio 1:20 yaitu sebesar 16,60 MPa dan pada umur rendam 56 hari yaitu sebesar 12,28 MPa. Berdasarkan uji ketahanan beton mengalami kehilangan masa, pengurangan berat dan kepadatan beton yang menyebabkan berkurangnya berat jenis dan kuat tekan beton karena menyerap cairan asam sulfat secara menyeluruh. Penggunaan rasio *foaming agent* dan air yang lebih kecil juga menghasilkan lebih sedikit kehilangan massa, berat jenis dan kuat tekan.

Pengamatan Makrostruktur Beton Setelah Direndam Asam Sulfat

Pengamatan struktur benda uji dapat dilihat secara visual dari keadaan beton untuk melihat perubahan pada struktur fisik beton. Berikut merupakan tampak benda uji *geopolymer foam concrete* setelah direndam larutan asam sulfat selama 56 hari terdapat pada Gambar 6.



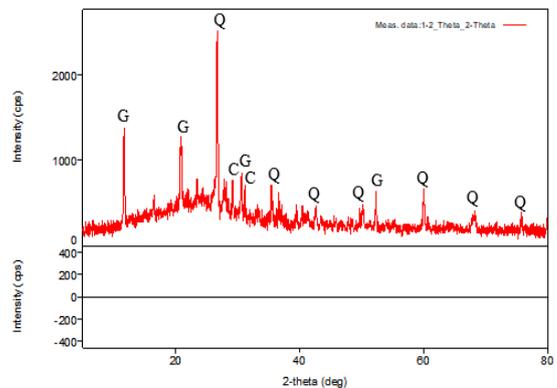
Gambar 6. Tampak visual benda uji setelah direndam asam sulfat

Benda uji beton mengalami kerusakan pada bagian permukaan hingga keinti beton setelah direndam larutan asam sulfat periode umur rendam yang telah direncanakan seperti yang terdapat pada Gambar 6. Permukaan benda

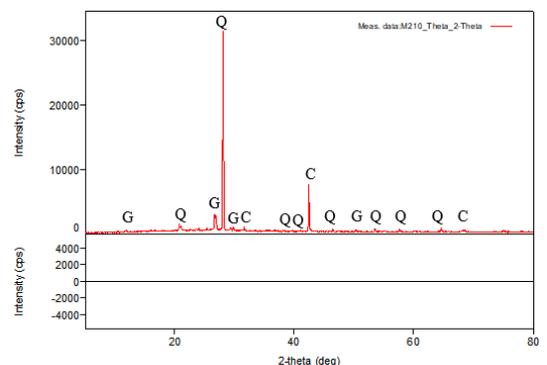
uji memiliki bercak putih yang keluar dan memiliki banyak pori. Hal ini dapat disebabkan karena benda uji banyak menyerap larutan asam selama periode hari perendaman secara menyeluruh dan menyebabkan rusaknya komponen baik dari dalam maupun pada bagian luar benda uji. Pengujian kuat tekan juga dilakukan setelah benda uji direndam. Benda uji yang terbelah pada bagian dalam terlihat pola kecoklatan yang merupakan hasil reaksi kimiawi antara komposisi mineral yang terkandung pada material penyusun beton dengan larutan asam sulfat.

Pengamatan Mikrostruktur Beton Setelah Direndam Asam Sulfat

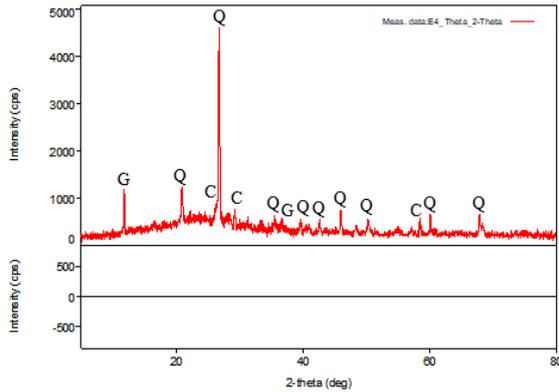
Pengujian mikrostruktur benda uji dilakukan untuk mengetahui karakteristik unsur dan senyawa yang terkandung didalam beton. Pengujian yang dapat dilakukan untuk melihat mikrostruktur benda uji adalah dengan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengamatan mikrostruktur juga bertujuan untuk mengetahui kandungan fasa dan kadar amorf suatu bahan. Pada hasil pengujian XRD, material yang dominan harus berupa fasa amorf. Apabila fase kristalin mendominasi, maka bahan tersebut tidak dapat bereaksi dengan material lainnya untuk membentuk suatu proses pengikatan. Berikut hasil pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan rasio *foaming agent* dan air pada pembuatan *foam* setelah benda uji direndam seperti terdapat pada Gambar 7 hingga Gambar 9.



Gambar 7. Pola difraksi setelah direndam dengan rasio foaming agent dan air 1:20



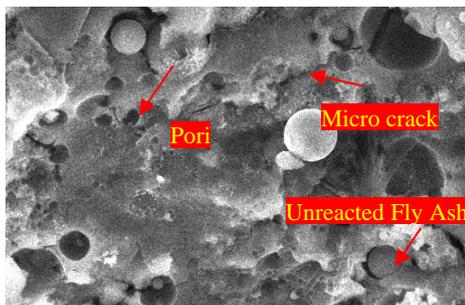
Gambar 8. Pola difraksi setelah direndam dengan rasio foaming agent dan air 1:30



Gambar 9. Pola difraksi setelah direndam dengan rasio foaming agent dan air 1:40

Hasil pengujian difraksi menunjukkan bahwa kandungan utama mineral fase amorf berupa mineral adalah *quartz* (SiO_2) 60,8%, mineral *gypsum* 27,7% dan *corundum* (Al_2O_3) sebesar 11,5%. Kandungan silika dan alumina tersebut berasal dari material *fly ash* yang komposisi utamanya adalah silika dan alumina. Gambar 2.7 menunjukkan puncak difraksi didominasi oleh mineral *quartz* (*Q*) 7 puncak (*peak*) dengan posisi sudut $2\theta = 26,89^\circ$, *gypsum* 3 puncak dan *corundum* yang menempati 2 puncak. Pola difraksi *geopolymer foam concrete* menunjukkan terbentuknya *gypsum* (CaSO_4H_2) yang terlihat juga dipermukaan secara visual dikarenakan kondisi benda uji terpapar asam sulfat H_2SO_4 .

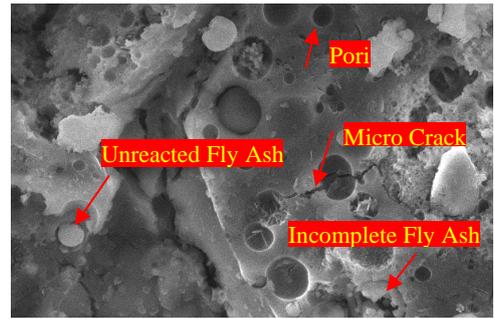
Berikut hasil pengujian tampak struktur mikro SEM (*Scanning Electron Microscope*) *geopolymer foam concrete* dapat dilihat pada Gambar 10 sampai Gambar 12.



Gambar 10. SEM-GFC dengan Rasio foaming agent dan air 1:20



Gambar 11. SEM-GFC dengan Rasio foaming agent dan air 1:30



Gambar 2.12. SEM-GFC dengan Rasio foaming agent dan air 1:40

Pengujian SEM-GFC menunjukkan perbesaran benda uji 2000x. Berdasarkan foto SEM partikel *fly ash* yang digunakan dalam campuran beton memiliki fase yang tidak reaktif. Beton memiliki diameter pori yang cukup besar dan beberapa reaksi yang tidak sempurna disebabkan oleh partikel *fly ash* tertutupi gel aluminosilikat sebagai pengikat bahan geopolimer. Pori yang lebih sedikit terdapat pada penggunaan rasio *foaming agent* dan air 1:20 dibandingkan variasi lainnya. Ukuran pori yang terbentuk pada beton memiliki ukuran beragam yaitu lebih kecil dari 10 μm . Pori yang terbentuk pada penggunaan rasio *foaming agent* dan air 1:40 berukuran sedikit lebih besar, hal ini dapat disebabkan besarnya kandungan udara yang terbentuk pada hasil pembuatan busa. Kualitas busa berperan penting dalam kepadatan *geopolymer foam concrete* sehingga juga dapat mempengaruhi durabilitas beton busa geopolimer terhadap kondisi terpapar sulfat.

3. Kesimpulan

Berdasarkan dari analisis yang telah dilakukan yaitu nilai *slump flow* menunjukkan dengan penggunaan rasio *foaming agent* dan air yang lebih rendah membuat benda uji lebih kental dan diameter *flow* lebih kecil. Diameter *slump* yang lebih kecil dan semakin cepat proses pengikatan mortar. Hasil pengujian berat jenis dan kuat tekan lebih tinggi dengan pemakaian rasio *foaming agent* dan air yang lebih kecil. Beton yang terpapar kondisi asam sulfat menunjukkan perubahan berat benda uji dan terjadinya kehilangan massa dibandingkan benda uji *geopolymer foam concrete* yang tidak terpapar asam sulfat. Hal ini disebabkan oleh kondisi benda uji yang terendam menyeluruh mengalami reaksi kimia antara material penyusun beton dengan larutan asam sulfat sehingga mengurangi kekuatan benda uji. Saran yang didapat dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan rasio *foaming agent* dan air yang lebih bervariasi dan jenis perendaman menggunakan menggunakan larutan asam lainnya untuk dapat mengetahui komposisi optimum untuk mencapai beton ringan *geopolymer* dengan berat jenis dan kuat tekan yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- ASTM C124. 1971. *Method of Test for Flow of Portland-Cement Concrete by Use of the Flow Table*.
- Chandra, D dan Firdaus. (2021). Analisa Pengaruh Aktivator Kalium Dan Kondisi Material Pada Beton Geopolymer Dari Limbah B3 *Fly Ash* Batubara Terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Rekayasa*. 11(1) : 1-16.
- Devi, D.S. dan Baniva, R. 2022. Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik *Geopolymer Foam Concrete* Dengan Variasi Rasio *Foaming Agent* dan Air. *Bearing jurnal*. 07 (04) : 215-222.
- Fauzi, M., dan Lestari, D.A. 2020. Analisis Kuat Lentur Campuran Beton Menggunakan Limbah B3 Sebagai Bahan Adiktif. *Pilar Jurnal Teknik Sipil*. 15 (02) : 58-63.
- Ghaniem, G.M., Yehia, S., Helmy, M., Mohamed, N. 2022. Effect of Sulphate Attack on Compressive Strength of Geopolymer Concrete. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 13(07) : 63-70.
- Kozłowski, Marcin and Kadela, Marta. 2018. Mechanical Characterization of Lightweight Foamed Concrete. *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering*.
- Nawaz, M.A., Ali, B., Qureshi, L.A. 2020. Effect of sulfate activator on mechanical and durability properties of concrete incorporating low calcium fly ash. *Case Studies in Construction Materials Journal*. 13 : 1:12.
- Rommel, E. et al. 2017. Characteristics of Foam Concrete with usage of Foam Agent which Varies (Review on Density, Strength, and Water Absorption). *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 8 (8).
- Sunagar, P, Sumalatha, J , Mahesh K.C., Shwetha K.G, Sanjith, J dan Kiran B.M. 2021. Strength and Durability Behaviour of Fly Ash Based Geopolymer Concrete in Structural Applications. *Nat. Volatiles & Essent. Oils*. 8(4): 3088-3100.
- Syahrul. 2022. Karakteristik Beton Ringan Menggunakan *Foam Agent (Sodium Lauryl Sulfate)* Sebagai Busa. *Jurnal Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 1-8.
- Wong, L.S. 2022. Durability Performance of Geopolymer Concrete: A Review. *Polymers*. 14 (868). 1-30.