

ANALISIS SIFAT FISIK DAN MEKANIK *GEOPOLYMER FOAM CONCRETE* DENGAN VARIASI RASIO *FOAMING AGENT* DAN AIR

Debby Sinta Devi^{1,*}, Ratih Baniva², Miselia Nazhirah TT³

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

³Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Indo Global Mandiri Palembang

*E-mail : debbysintadevi@uigm.ac.id

Abstract

Geopolymer is the synthesis of inorganic natural materials through a polymerization process. The main ingredients in the manufacture of geopolymers are materials containing silica and alumina. Geopolymer material can be obtained from coal industry waste products such as fly ash. Innovative technology in manufacturing foam concrete is widely used in building construction, such as using earthquake-resistant building walls and energy-efficient buildings. In this study, geopolymer foam concrete was manufactured by combining a mixture of geopolymer and a mixture of foam. A solution of 14 M NaOH and Na₂SiO₃ with a ratio of 2.5 was used as an activator. Fly ash is a precursor, and the ratio of foaming agent and water is 1:20, 1:30, and 1:40, which is used as a material for making foam. This study aimed to determine geopolymer foam concrete's physical and mechanical properties with various foaming agents and water. The results of testing for air content in fresh concrete indicate that the use of more foaming agents in the manufacture of foam can improve the quality of the foam and reduce the air content of the concrete so that it can increase the compressive strength of the test object. The use of fewer foaming agents can reduce the density of geopolymer foam concrete.

Keywords : *Geopolymer, Fly Ash, Foam Concrete, Air Content, Compressive Strength*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi telah mendorong perkembangan baru dalam bidang konstruksi. Salah satu material konstruksi pembentuk struktur yang sering digunakan adalah beton. Asri, dkk. (2014) menyebutkan bajwa semen, agregat, air dengan bahan tambah lainnya merupakan bahan penyusun beton. Teknologi beton terus diupayakan agar mendukung konsep yang ramah lingkungan.

Peningkatan pembangunan infrastruktur yang terus berkembang menyebabkan penggunaan semen bahan penyusun beton sering digunakan sehingga produksi semen semakin meningkat. Pembuatan semen yang dilakukan dapat menimbulkan gas karbon dioksida (CO₂) sesuai berat semen yang dihasilkan. Hal tersebut meningkatkan kerusakan lingkungan seperti dampak *global warming*. Hadiyana, dkk. (2016) menyebutkan bahwa penggunaan semen sebagai binder dalam campuran beton

telah dikembangkan untuk upaya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekitar.

Professor Joseph Davidovits pada tahun 1978 memperkenalkan inoasi beton dengan geopolimer. Chandra, dkk. (2021) menyebutkan bahwa material geopolimer berasal dari material polimer anorganik yang disintesis secara geokimiawi memakai bahan dasar mineral oksida silika dan tinggi alumina. Al Qubro, dkk. (2021) menyebutkan bahawa *fly ash* adalah abu hasil pembakaran batu bara yang dapat mendukung proses polimeriasi karna tinggi kandungan silika dan alumina.

Selain mendukung konsep ramah lingkungan, penelitian juga berfokus pada beton ringan guna mendukung konstruksi yang berkelanjutan. Wilayah Indonesia sangat berpotensi terjadi gempa bumi, oleh karena itu diperlukan konstruksi yang dapat beradaptasi dengan daerah yang berpotensi terjadinya gempa. Penggunaan konstruksi

bangunan dengan berat yang lebih ringan menjadi upaya yang terus dikembangkan.

Kozłowski, et al. (2018) menyebutkan bahwa penggunaan beton ringan mengurangi berat bangunan secara keseluruhan karena berat jenis beton ringan bekisar antara 300-1.600 kg/m³. Beton busa termasuk jenis beton ringan yang dapat diproduksi dengan berbagai metode. Pembuatan beton ringan adalah dengan menggunakan *foaming agent* dan air sebagai campuran pembuatan busa untuk dapat menghasilkan beton ringan dengan berat jenis yang rendah. Rommel, et al. (2017) *foamed concrete* menjadikan karakteristik beton lebih baik dengan menghasilkan bangunan yang kedap suara dan dapat menghambat panas.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian dilakukan pada beton ringan geopolimer yang terdiri dari bahan penyusun seperti prekursor dari *fly ash*, aktivator berupa larutan NaOH dan Na₂SiO₃, serta bahan pembuatan busa yaitu *foaming agent* dan air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh rasio dari penggunaan *foaming agent* dan air pada pembuatan busa sebagai bahan campuran *geopolymer foam concrete* terhadap sifat fisik dan mekanik beton.

Geopolimer memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik dari serangan sulfat. Pembuatan beton geopolimer menggunakan lebih sedikit energi dan penggunaan material dari daur ulang. Yin-yang, et al. (2012) menyebutkan bahwa beton busa geopolimer memiliki berat jenis ringan dan dapat mereduksi panas karena banyak terdapat mikropori pada struktur.

Ibrahim, et al. (2017) menyebutkan bahwa *foam* yang ditambahkan kedalam pasta geopolimer dapat menahan gelembung pada pasta geopolimer, sehingga dapat mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Ramamurthy (2009) menyebutkan bahwa *geopolymer foam concrete* mengkonsumsi minimal agregat, sifat insulasi panas yang sangat baik serta memiliki *flowabilitas* tinggi dan berat jenis beton menjadi ringan.

Foam agent merupakan bahan yang digunakan untuk menghasilkan busa. *Foam agent* berasal dari buatan maupun alami.

Berdasarkan ASTM C869-91, *foaming agent* dirumuskan khusus untuk menghasilkan busa pada produksi pembuatan beton busa. Salah satu jenis *foaming agent* yang dapat digunakan adalah dari bahan sintetik atau protein.

Hamad (2014) menyebutkan bahwa *foam* yang berasal dari jenis sintetik memiliki berat 40 gram/liter sedangkan dari jenis protein 80 gram/liter. Pada konsistensi tertentu penggunaan *foaming agent* dan air dapat menghasilkan busa sehingga dapat digunakan pada pembuatan beton ringan guna mendukung pemanfaatan bangunan yang ringan dan berkelanjutan. Liu, et al. (2014) menyebutkan bahwa pembuatan busa didapatkan dari campuran yang terdiri dari *foaming agent* dan air menggunakan alat *foam generator* dan kompresor pada tekanan sebesar 75 Psi.

Natrium hidroksida atau (NaOH) pada geopolimer berperan untuk menguraikan unsur aluminium dan silikon dengan menambahkan ion Na⁺. Kepadatan beton geopolimer dengan menggunakan *fly ash* dipengaruhi oleh penggunaan konsentrasi NaOH sebagai aktivator. Pembuatan beton geopolimer pada penelitian Budh, et al. (2014) dengan menggunakan variasi molaritas NaOH mulai dari 8 M hingga 14 M menghasilkan nilai kuat tekan yang berbeda. Berdasarkan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan molaritas NaOH yang lebih besar menyebabkan kuat tekan benda uji meningkat. Kuat tekan tertinggi berada pada penggunaan NaOH 14 M dengan hasil kuat tekan sebesar 24,67 MPa.

Natrium silikat atau (Na₂SiO₃) pada beton geopolimer berfungsi sebagai aktivator yang dapat mempercepat reaksi polimerisasi. Rasio aktivator dapat mempengaruhi kekuatan beton geopolimer. Penelitian yang dilakukan oleh Bakri, et al. (2012) menggunakan bahan pengikat sebagai pengganti semen berupa *fly ash* tipe F serta perbandingan rasio alkali aktivator 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 hingga 3. Berdasarkan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa rasio alkali aktivator tertinggi adalah pada rasio 2,5 dengan nilai kuat tekan benda uji sebesar 57 MPa. Kelebihan konsentrasi OH⁻ dalam

campuran geopolimer menyebabkan penurunan nilai kuat tekan. Natrium karbonat akan terbentuk jika kandungan natrium berlebihan sehingga dapat menghambat terjadinya reaksi polimer.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan variasi optimum campuran dalam mencapai berat jenis beton ringan geopolimer dengan densitas dibawah 1.700 kg/m^3 serta menganalisis pengaruh beberapa variasi rasio penggunaan *foaming agent* dan air pada karakteristik beton yang dihasilkan.

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Fly ash* sebagai binder. Larutan NaOH 14 M dan Na_2SiO_3 dengan rasio 2,5 digunakan sebagai aktivator.
2. Agregat halus berupa jenis pasir Tanjung Raja.
3. *Foaming agent* yang digunakan berasal dari PT. Gunung Drajat.
4. Perawatan benda uji dengan cara *steam curing* pada temperatur 65°C selama 48 jam.
5. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada 7, 14, 21 dan 28 hari.
6. Standar seluruh pengujian material dan benda uji menggunakan ASTM (*American Standard Testing and Material*) serta SNI (Standar Nasional Indonesia).

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan berupa metode eksperimental. Tahap awal penelitian ini adalah mencari literatur dari berbagai sumber sebagai referensi untuk membahas masalah dan tujuan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya Indralaya. Tahap awal penelitian yaitu persiapan alat dan bahan berupa campuran geopolimer yang terdiri dari *fly ash*, Na_2SiO_3 , NaOH, agregat halus, dan *superplasticizer*, serta campuran *foam* yang terdiri dari beberapa variasi *foaming agent* dan air. Tahap selanjutnya adalah uji material bahan penyusun beton, penentuan komposisi campuran (*job mix formula*).

Berikut komposisi campuran *geopolymer foam concrete* per m^3 :

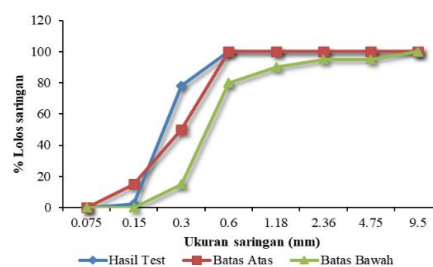
- *Fly ash* : 559 kg
- Agregat halus : 1017 kg
- Alkali aktivator : 330 kg
- $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$: 2,5 kg
- Na_2SiO_3 : 192,14 kg
- NaOH : 76,86 kg
- Air : 73,4 kg
- SP : 8,9 kg
- Rasio Foam agent dan air : 1:20, 1:30, 1:40
- Volume *foam* : 60 kg

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan benda uji, pengujian mortar segar seperti uji slump, uji *setting time* dan uji kandungan udara serta pencetakan benda uji, *steam curing*, pengujian densitas dan kuat tekan beton. Kemudian dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian untuk selanjutnya diambil beberapa kesimpulan dan saran penelitian berikutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus atau pasir yang merupakan bahan pembentuk beton diuji karakteristik materialnya. Pengujian agregat halus terdiri dari pengujian berat jenis, pengujian berat volume, pengujian penyerapan air, analisa saringan, pengujian kadar zat organik serta kadar lumpur. Hasil pengujian modulus kehalusan agregat halus yaitu 1,196. Berat volume padat agregat halus 1,425 kg/L dan berat volume gembur 1,287 kg/L. Kadar lumpur agregat halus 0,498%, kadar zat organik No.2. Berat jenis kondisi kering 2,449, berat jenis kondisi SSD 2,488, serta persentase absorpsi air 2,461%. Grafik analisa saringan agregat halus pada Gambar 1.



Gambar 1. Analisa saringan agregat halus

Hasil pengujian agregat halus menunjukkan bahwa ukuran butiran berkisar 0,1-0,3 mm. Pengujian agregat halus memiliki nilai persentase lolos kumulatif saringan 4,75 mm, saringan 2,6 mm, saringan 0,60 mm dan saringan 1,18 sebesar 100%, saringan 0,30 mm 78%, serta saringan 0,15 mm 2,4% dan saringan 0,075 mm 0%.

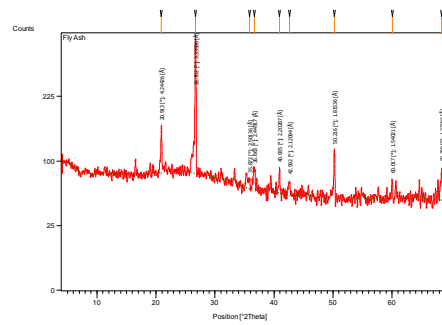
Hasil Pengujian Fly Ash

Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) material fly ash bertujuan untuk mengetahui komposisi mineral yang ada didalam material. Hasil uji komposisi mineral fly ash pada Tabel 1. Hasil pengujian XRF fly ash mineral SiO₂ = 50,07 %, Fe₂O₃ = 4,28% dan Al₂O₃ = 30,41%. Berdasarkan standar ASTM C 618-03, untuk fly ash tipe C kadar minimum SiO₂ + Fe₂O₃ + Al₂O₃ = 50 % sedangkan untuk fly ash tipe F dan N 70%. Fly ash yang digunakan termasuk pada tipe F, yaitu karna jumlah dari tiga parameter tersebut adalah 80,48%. Nilai LOI sebesar 1,28% yang artinya masih berada pada syarat standar, dimana persyaratan dari ASTM nilai LOI tertinggi adalah 6%.

Tabel 1. Kandungan mineral fly ash

Unsur kimia			
Oksida (oxides)	Jumlah (%)	Oksida (oxides)	Jumlah (%)
SiO ₂	50,070	Si	23,410
TiO ₂	0,811	Ti	0,486
Al ₂ O ₃	30,410	Al	16,090
Fe ₂ O ₃	4,280	Fe	2,990
MnO	0,064	Mn	0,050
CaO	4,120	Ca	2,950
MgO	2,410	Mg	1,460
Na ₂ O	4,880	Na	3,620
K ₂ O	0,778	K	0,646
SO ₃	0,348	Sx	0,139
P ₂ O ₅	0,266	Px	0,116

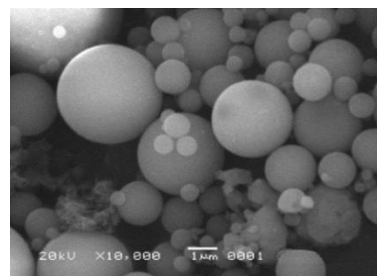
Hasil dari pengujian XRD fly ash menunjukkan bahwa kandungan silika dan alumina merupakan unsur mineral yang dominan pada fly ash pada. Adapun hasil pengujian XRD fly ash ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola difraksi fly ash

Material fly ash dengan kandungan amorf yang lebih tinggi memiliki karakteristik material yang lebih baik. Apabila fasa kristalin yang mendominasi, maka sifat kristalin tersebut dapat menghambat proses geopolimerisasi. Dari hasil pola difraksi fly ash didapatkan fasa amorf lebih dominan, terlihat dari banyaknya puncak yang landai dibandingkan puncak tajam. Material fly ash dengan fasa amorf yang dominan lebih mudah bereaksi dengan material lain sehingga dapat meningkatkan hasil kekuatan beton.

Hasil uji morfologi SEM partikel fly ash menunjukkan bahwa fly ash berupa partikel halus berbentuk bulat. Pratiwi (2019) menyatakan bahwa semakin dominan partikel fly ash yang bulat, maka material tersebut memiliki fasa amorf yang lebih tinggi sehingga dapat bereaksi dengan baik untuk mengikat material penyusun beton lainnya. Material dengan fasa kristalin yang dominan memiliki kemampuan mengikat material lainnya yang lebih rendah. Hasil uji morfologi SEM partikel fly ash ditunjukkan pada Gambar 3.

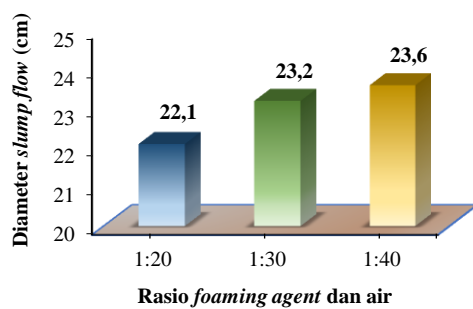


Gambar 3. Morfologi fly ash

Hasil Pengujian Slump Flow

Pengujian slump flow adalah untuk mengetahui kadar kekentalan beton segar

dalam hal *workability* yang baik. Pengujian *slump flow* dilakukan berdasarkan standar ASTM C124. Hasil uji *slump flow* ditunjukkan Gambar 4.

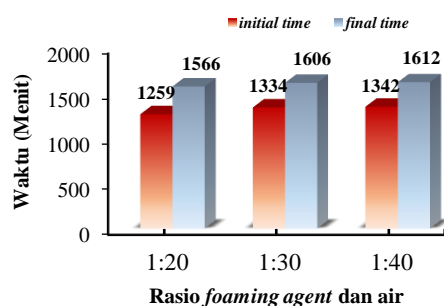


Gambar 4. Hasil uji *slump flow* berdasarkan variasi rasio *foaming agent* dan air

Pengujian *slump flow* dilakukan dengan meratakan 4 sisi diameter benda uji. Pada rasio *foaming agent* dan air 1:40 nilai *slump flow* sebesar 23,6 cm dan pada rasio 1:20 adalah sebesar 22,1 cm. Grafik pada Gambar 3.4 menunjukkan bahwa penggunaan rasio *foaming agent* dan air yang lebih besar dapat membuat beton segar menjadi lebih encer dan cair. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan *foam* yang lebih sedikit dapat menghasilkan campuran *foam* yang kurang padat sehingga mengurangi kerapatan beton

Hasil Pengujian Setting Time

Pengujian waktu ikat beton dilakukan setiap 15 menit sampai jarum *vicat apparatus* tidak dapat melakukan penetrasi pada beton yang artinya beton sudah mengeras. Hasil uji waktu ikat beton pada pengaruh rasio *foaming agent* dan air pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh variasi rasio *foaming agent* dan air terhadap *setting time*

Gambar 5 menunjukkan bahwa penggunaan rasio *foaming agent* dan air yang semakin meningkat menyebabkan terjadinya peningkatan hasil *setting time* beton. Waktu ikat awal yang paling cepat yaitu pada rasio *foaming agent* dan air 1:20 adalah selama 1259 menit dan yang paling lama yaitu pada rasio 1:40 adalah selama 1342 menit. Semakin sedikit penggunaan *foaming agent* maka waktu pengikatan beton semakin cepat karena *foam* yang dihasilkan lebih halus dan sedikit pori sehingga membuat beton lebih padat dan lebih cepat mengeras.

Hasil Pengujian Air Content

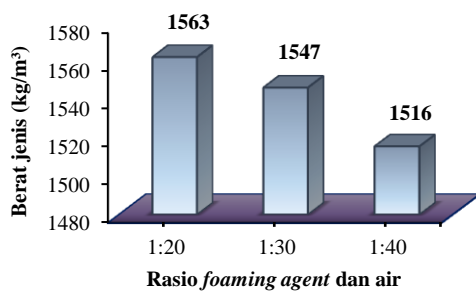
Kadar kandungan udara pada beton segar dapat diketahui dengan pengujian kandungan udara berdasarkan standar SNI-03-3418-1994. Kandungan udara yang banyak menyebabkan beton menjadi lebih ringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar udara mencapai 10% sebelum mencapai tekanan 1 Psi. Oleh karena itu untuk mengetahui kadar kandungan udara dilakukan perhitungan pengurangan jumlah volume total campuran beton segar dengan volume setelah adanya penurunan sehingga didapat persentase kandungan udara. Berikut hasil uji *air content geopolymer foam concrete* pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan udara *geopolymer foam concrete*

Rasio <i>foaming agent</i> dan air	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	Kandungan udara (%)
1:20	1365	5000	27,3
1:30	1385	5000	27,7
1:40	1405	5000	28,1

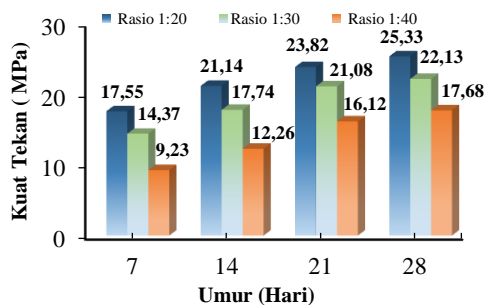
Hasil pengujian *air content* yang ditampilkan pada Tabel 2, komposisi dengan rasio *foaming agent* dan air 1:20 didapat kadar udara pada beton segar sebesar 27,3%, rasio *foaming agent* dan air 1:30 kadar udara pada beton segar sebesar 27,7%, sedangkan rasio *foaming agent* dan air 1:40 didapat kadar udara pada beton sebesar 28,1%. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio *foaming agent* dan air semakin tinggi pori yang terkandung pada *geopolymer foam concrete*. Hal ini disebabkan oleh jumlah *foaming agent* yang lebih sedikit menghasilkan kualitas busa yang kurang

halus dan berpori sehingga menyebabkan penambahan kandungan udara pada beton segar. Hasil pengujian berat jenis *geopolymer foam concrete* terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Berat jenis benda uji dengan variasi *foaming agent* dan air

Pada Gambar 6 berat jenis maksimum benda uji adalah sebesar 1.563 kg/m³ pada rasio *foaming agent* dan air 1:20 dan sebesar 1.516 kg/m³ pada rasio perbandingan *foaming agent* dan air 1:40. Berikut nilai kuat tekan benda uji dengan variasi rasio *foaming agent* dan air pada Gambar 7.



Gambar 7. Kuat tekan benda uji dengan variasi rasio *foaming agent* dan air

Nilai kuat tekan benda uji yang paling tinggi dari ketiga variasi adalah pada rasio *foaming agent* dan air 1:20 yaitu sebesar 25,33 MPa dan kuat tekan terendah untuk rasio *foaming agent* dan air 1:40 pada umur beton 28 hari adalah sebesar 17,68 MPa. Hasil nilai berat jenis benda uji dengan variasi rasio *foaming agent* dan air tidak terlalu signifikan, hal ini dikarenakan jumlah volume *foam* yang digunakan pada campuran beton adalah sama hanya berbeda rasio penggunaan *foaming agent* dan air. Rasio *foaming agent*

dan air yang lebih besar akan menghasilkan berat jenis benda uji yang lebih ringan.

Rasio *foaming agent* dan air mempengaruhi karakteristik benda uji yang dihasilkan dalam hal berat jenis dan kuat tekan. Penggunaan *foaming agent* yang lebih sedikit akan menambah gelembung udara pada hasil pembuatan *foam*, sehingga dapat menyebabkan *foam* memiliki lebih banyak pori dan menurunkan kepadatan beton. Sedangkan Jumlah *foaming agent* yang lebih ditambahkan pada saat pembuatan *foam* maka akan meningkatkan nilai berat jenis dan kuat tekan. Semakin padat busa yang dihasilkan atau semakin sedikit pori pada busa maka akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi pada *geopolymer foam concrete*.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Campuran optimum *geopolymer foam concrete* berada pada rasio *foaming agent* dan air 1:20 dengan hasil diameter *flow* pada uji *slump flow* sebesar 22,1 cm, nilai *final time* sebesar 1.566 menit, kandungan udara sebesar 27,3%, serta nilai berat jenis yaitu sebesar 1563 kg/m³ dan nilai kuat tekan 25,33 MPa pada umur beton 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian benda uji yang memiliki densitas dibawah 1.700 kg/m³ menunjukkan bahwa *geopolymer foam concrete* termasuk kedalam katagori beton ringan geopolimer.
2. Hasil pengujian *slump flow* menunjukkan bahwa dengan penggunaan *foaming agent* yang lebih banyak dapat menghasilkan campuran yang tidak terlalu *flow*. Selain itu dengan penggunaan *foaming agent* yang lebih banyak pada campuran pembuatan busa maka semakin mempercepat waktu pengikatan akhir beton. Semakin meningkat rasio *foaming agent* dan air, menyebabkan peningkatan pori yang ada didalam *geopolymer foam concrete*. Hal ini disebabkan oleh perbandingan penggunaan jumlah *foaming agent* yang lebih rendah dalam pembuatan *foam* dapat membuat kualitas busa dengan lebih banyak gelembung udara sehingga

menyebabkan penambahan pori pada beton. Nilai berat jenis benda uji yang dihasilkan semakin kecil dengan rasio penggunaan *foaming agent* dan air yang lebih tinggi. Sedangkan nilai kuat tekan benda uji *geopolymer foam concrete* semakin tinggi dengan rasio *foaming agent* dan air yang lebih rendah. Beton ringan dengan nilai kuat tekan yang cukup tinggi memiliki sifat fisik dan mekanik lebih baik sebagai penggunaan bahan konstruksi berkelanjutan.

REFERENSI

- ASTM C124-39. 1971. Method of Test for Flow of Portland-Cement Concrete by Use of the Flow Table.
- ASTM C618-03. 2003. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- ASTM C869-91. 1999. Standard Specification for Foaming agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete.
- Al Qubro, K., Saggaff, A dan Saloma. (2021). The Compressive Strength of Fly Ash Foamed Concrete With Polypropylene Fiber, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. 29(1), 447-453.
- Asri, R, dan Nisumanti, S. (2014). Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan Conplast Sp 337, *Jurnal Tekno Global*. 3(1), 14-20.
- Bakri, A. M. M. et al. (2012). Effect of $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Ratios and NaOH Molarities on Compressive Strength of Fly-Ash-Based Geopolymer, *ACI Materials Journal*. 109 (5).
- Budh, C. D. and Warhade, N. R. (2014). Effect of Molarity on Compressive Strength of Geopolymer Mortar, *International Journal of Civil Engineering Research*. 5(1), 83-86.
- 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.
- Hadiyana, D dan Nisumanti, S. (2016). Penggunaan Sika Viscocrete 3115 ID Untuk Memudahkan Pengerjaan (Workability Beton Mutu Tinggi K.350 Dan Kuat Tekan Beton), *Bearing : Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*. 4(3), 107-113.
- Hamad, Ali J. (2014). Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete: Review, *International Journal of Materials Science and Engineering*. 2 (2).
- Ibrahim et al. (2017). Geopolymer Lightweight Bricks Manufactured From Fly Ash and Foaming Agent. *Advanced Materials Engineering And Technology V: AIP Conference Proceedings*, Kaohsiung City, Taiwan : 8-9 December 2016.
- Kozłowski, M and Kadela, M. (2018). Mechanical Characterization of Lightweight Foamed Concrete. *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering*. 1-8.
- Liu M. Y. J. et al. (2014). Evaluation of thermal conductivity, mechanical and transport properties of lightweight aggregate foamed geopolymer concrete. *Energy and Buildings*. 72, 238-245.
- Pratiwi, W. D. (2019). Hubungan Morfologi, Ukuran Partikel dan Keamorfian Fly Ash dengan Kuat Tekan Pasta High-Volume Fly Ash (HVFA) Cement. *Jurnal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*. 93-98.
- Ramamurthy K, Nambiar, E.K.K., and Ranjani, G.I.S. (2009). A classification of studies on properties of foam concrete, *Cement Concrete Composition Journal*. 31(6), 388-396.

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).

SNI 03-3418-1994. Metode Pengujian Kandungan Udara Pada Beton Segar.

Yin-Yang, T, et al. (2012). The Effects of Foaming Agents and Modifiers on a Foamed-geopolymer. *The 2012 World Congress on Advances in Civil, Environmental and Materials Research*, Seoul, Korea : 26-30 Agustus 2012.