

PENGEMBANGAN KOMPOSIT RINGAN GEOPOLIMER BERPORI-SERAT BAMBUS SEBAGAI BAHAN RUMAH BERBENTUK *DOME* ANTI GEMPA

***Muhammad Syihab**
Universitas Negeri Makassar
muhammadsyihab40@gmail.com

Subaer
Universitas Negeri Makassar
subaerjunaedi@gmail.com

Nurhayati
Universitas Negeri Makassar
nurhayati@unm.ac.id

*Penulis Korespondensi

Naskah diajukan
23 Februari 2022
Naskah direvisi
9 Agustus 2022
Naskah disetujui
30 November 2022
Naskah dipublikasi
15 Desember 2022

Abstrak - Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan komposit ringan geopolimer berpori-serat bambu sebagai bahan rumah berbentuk *dome* anti gempa. Geopolimer berpori-serat bambu diproduksi dengan bahan dasar *fly ash* dan serat bambu dengan penambahan 0%; 0,25%; dan 0,5%. Komposit ringan geopolimer berpori-serat bambu disintesis menggunakan metode aktivasi larutan alkali ($\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$) dengan menambahkan agen berpori (H_2O_2). Serat bambu disisipkan ke dalam pasta geopolimer berpori dengan model *fibrous composite*. Sampel di-*curing* pada suhu 70 °C selama 3 jam. Sampel disimpan pada ruang terbuka selama 28 hari. Berdasarkan hasil karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) material geopolimer berpori berikatan dengan baik dengan serat bambu. Hasil karakterisasi massa jenis dan porositas menunjukkan bahwa setiap penambahan variasi serat bambu diperoleh nilai massa jenis yang kecil dan nilai porositas semakin besar. Kuat tekan tertinggi diperoleh sebesar 6,5 MPa dengan variasi massa serat bambu 0%. Kuat lentur tertinggi diperoleh sebesar 3,06 MPa dengan variasi massa serat bambu 0%. Hasil uji getar tertinggi diperoleh waktu bertahan hingga runtuh sebesar 68 s pada variasi massa serat bambu 0,5%. Hal ini juga didukung oleh pengujian mikrostruktur SEM yang memperlihatkan ikatan yang baik antara matriks dan agregat. Material komposit yang disintesis berbahan dasar *fly ash* sebagai pengikat dan serat bambu sebagai matriks (agregat) layak diaplikasikan sebagai bahan rumah berbentuk *dome* anti gempa.

Kata Kunci : Serat Bambu, *Dome*, *Fibrous Composite*, Anti Gempa.

Abstract – Research has been conducted aimed at developing of porous geopolymers-bamboo fiber lightweight composites as dome-shaped house materials anti-earthquake. Geopolymer porous-bamboo fiber is produced with the basic material of fly ash and bamboo fiber with the addition of 0%; 0.25%; and 0.5%. The porous geopolymer-bamboo fiber lightweight composite is synthesized using the alkaline solution activation method ($\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$) by adding a porous agent (H_2O_2). Bamboo fibers are inserted into a porous geopolymer paste with a fibrous composite model. The sample was cured at 70 °C for 3 hours. The sample was kept in an open space for 28 days. Based on the characterization of Scanning Electron Microscopy (SEM) material porous geopolymers bind well with bamboo fibers. The results of the characterization of type mass and porosity show that each addition of bamboo fiber variation obtained a small type mass value and the porosity value is getting bigger. The highest compressive strength is obtained at 6.5 MPa with a 0% variation in bamboo fiber mass. The highest bending strength was obtained at 3.06 MPa with a 0% variation in bamboo fiber mass. The highest vibrating test results obtained the time to survive until it collapsed by 68 s at a variation in the mass of bamboo fiber of 0.5%. It is also supported by testing of SEM microstructures that show good bonds between matrices and aggregates. Composite materials synthesized based on fly ash as binders and bamboo fibers as a matrix (aggregate) are worth applying as an anti-earthquake dome-shaped house material.

Keywords : Bamboo Fiber, *Dome*, *Fibrous Composite*, Anti-earthquake.

A. PENDAHULUAN

Tingginya frekuensi bencana alam di tanah air menuntut kewaspadaan dan kesiapsiagaan semua pihak. Provinsi Sulawesi Barat adalah salah satu daerah rawan bencana alam gempa bumi. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mengatakan wilayah yang terletak dekat dengan sumber gempa bumi adalah Kabupaten Majene dan sekitarnya. Salah satu alternatif perlindungan bencana gempa yaitu bangunan rumah bentuk *dome*. Penggunaan material ringan seperti geopolimer berpori menjadi alternatif suatu bangunan mampu bertahan ketika guncangan keras akibat gempa bumi terjadi.

Komposit merupakan campuran dua komponen atau lebih yang menghasilkan material baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya (Nazim, Ansari and Atiqah, 2019). Beberapa sifat unggul dari komposit, yaitu tahan terhadap korosi, memiliki sifat fatik lebih baik daripada logam, dan memiliki umur pakai yang panjang/awet dalam penggunaannya (Nugroho et al., 2016). Mekanisme penguatan komposit tergantung pada geometri penguatnya. Jenis komposit yang paling menjanjikan agar diperoleh kekuatan mekanik yang tinggi adalah komposit serat (*fibrous composite*) (Dwi A, Karmiadji, dan Prasetyo, 2020). Bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu *strong* (kuat), *stiff* (tangguh), dan lebih tahan terhadap panas pada saat di dalam matriks (Roviello et al., 2013).

Fly ash merupakan material sisa hasil industri yang kaya dengan mineral aluminasilikat dan serbuk dengan partikel yang umumnya berbentuk sferis, padat atau kosong, dan umumnya bersifat amorf. Warna *fly ash* bervariasi dari abu-abu hingga hitam, bergantung dari banyaknya karbon yang tidak terbakar. Semakin cerah warna *fly ash*, semakin sedikit kandungan karbonnya (Subaer, 2015). *Fly ash* dapat disintesis menjadi material geopolimer melalui aktivasi larutan alkali karena mengandung mineral alumina silika, penggunaan *fly ash* sebagai material geopolimer dapat mereduksi pelepasan gas CO₂ ke udara sekitar 80° daripada penggunaan OPC (Rashidian-Dezfouli and Rangaraju, 2017).

Geopolimer merupakan bahan yang memiliki potensi komersial dikarenakan harganya yang murah, ramah lingkungan, kekuatan tinggi, dan sintesisnya yang mudah (Wang et al., 2020). Geopolimer dapat disintesis dari limbah aluminosilikat seperti *fly ash* yang berasal dari limbah padat hasil pembakaran batu bara dan menyebabkan pencemaran lingkungan (Malkawi et al., 2018). Geopolimer berpori dapat diperoleh dengan penambahan agen berpori pada geopolimer. Salah satu agen berpori yang bisa digunakan adalah H₂O₂ (hidrogen peroksida). Kinerja H₂O₂ sebagai agen pembentuk pori yang baik daripada agen pori lainnya, hal ini dikarenakan H₂O₂ lebih mudah terurai menjadi H₂O dan O₂, selain itu H₂O₂ juga menghasilkan gas di skala molekuler dan menghasilkan pori yang lebih homogen (Petlitchkaia and Poulesquen, 2019).

Namun produksi geopolimer berpori dapat mengurangi kekuatan mekanik komposit geopolimer (Senff et al., 2020). Oleh karena itu, untuk memperbesar kuat mekanik geopolimer

berpori, maka dilakukan melalui penambahan serat alami yaitu serat bambu yang menjadi pilihan karena merupakan produk hasil alam yang mudah dibudidayakan. Bambu memiliki beberapa kelebihan yaitu, tidak mengalami korosi, relatif murah, dan kuat tarik yang lebih tinggi (Warsito dan Rahmawati, 2020). Penggunaan bambu sebagai material struktur sangat tepat karena bambu cukup ringan dan lentur sehingga bangunan dari struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gempa. Karakteristik mekanik bambu ini menjadikan bambu mempunyai peluang untuk digunakan sebagai serat pada beton (Warsito dan Rahmawati, 2020). Kerja serat akan lebih efektif bila diletakkan berjajar dan seragam, tidak tumpang tindih sehingga dapat meningkatkan perilaku keruntuhan dari beton (Junnaidy *et al.*, 2017).

Rumah *dome* adalah suatu bangunan sebagai tempat hunian yang memiliki tampilan berbentuk bulat atau setengah lingkaran. Pada lapisan bagian atas rumah berbentuk *dome* dilapisi komposit geopolimer berpori yang di produksi. Keunggulan dari bangunan tahan gempa berbentuk *dome* adalah tidak adanya sambungan yang merupakan titik lemah dari bangunan ketika diguncang gempa dan mampu menahan terpaan angin hingga berkecepatan 450 km/jam (Pratama, Santosa dan Adhitama, 2016). Penggunaan material ringan seperti geopolimer berpori juga menjadi nilai tambah mengapa bangunan ini mampu bertahan ketika guncangan keras akibat gempa terjadi. Tidak hanya memiliki tampilan unik dan menarik, tentunya bangunan tahan gempa ini memiliki struktur yang sangat aman terhadap bencana dan tentunya bahaya dari bencana gempa bisa diminimalisir (Putra Marindrha, 2018).

B. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental murni dan bersifat laboratorium yang mengarah kepada pengembangann komposit ringan geopolimer berpori menggunakan bahan dasar limbah *fly ash* sebagai bahan dasar produk geopolimer yang dikombinasikan dengan serat bambu dan H_2O_2 (hidrogen peroksida). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat bambu terhadap massa jenis komposit ringan geopolimer berpori, untuk mengetahui pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur komposit ringan geopolimer berpori, dan untuk menyelidiki ketahanan beton rumah bentuk *dome* pada penanggulangan gempa bumi menggunakan komposit ringan geopolimer berpori. Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan di beberapa laboratorium untuk sintesis dan uji karakterisasi.

Penelitian ini berfokus kepada bahan rumah *dome* anti gempa yang berbasis komposit ringan geopolimer berpori yang diperkuat dengan serat bambu sebagai penguat yang baik untuk meningkatkan sifat mekanik (kelenturan dan ketahanan) komposit serat bambu dan digunakan bahan dasar *fly ash* dengan variasi komposisi serat bambu yaitu 0%, 0,25%, dan 0,5%. Serat bambu cukup menjanjikan untuk dijadikan sebagai penguat geopolimer ringan pada aplikasi rumah bentuk *dome*.

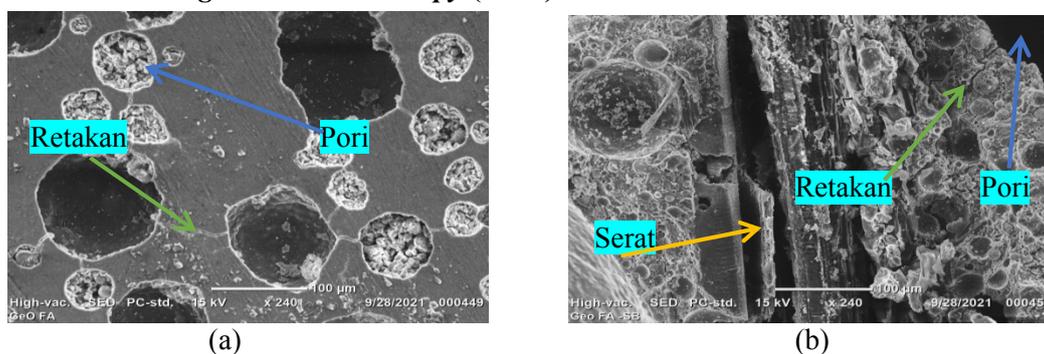
Bambu yang digunakan merupakan jenis bambu betung yang berasal dari Kabupaten Polewali Mandar. Untuk mendapatkan serat bambu, bambu terlebih dahulu dibersihkan kemudian dipotong-

potong sepanjang kira-kira 10 cm lalu bambu dikupas dengan mengambil kulitnya. Kulit bambu yang telah bersih tersebut selanjutnya dimasak hingga lunak kemudian dikeringkan. Kulit bambu yang telah kering selanjutnya ditumbuk menggunakan palu sehingga diperoleh serat bambu. Hasil serat bambu selanjutnya direndam dengan larutan NaOH selama 1 jam. Setelah itu, serat bambu kemudian dicuci dengan pH netral lalu didiamkan selama 24 jam. Serat bambu hasil rendaman selanjutnya dibilas dengan pH netral hingga bersih lalu dikeringkan dan siap untuk digunakan.

Dalam pembuatan komposit ringan, *fly ash* diaktivasi dengan larutan alkali dan agen berpori pada komposisi yang tepat sehingga diperoleh material gel yang homogen. Sebagaimana material tersebut dituang ke dalam cetakan lalu diisi dengan serat bambu yang berbentuk lempeng. Sisa material gel kembali dituangkan di atas serat hingga isi cetakan penuh. Sampel kemudian di-*curing* pada temperatur 70 °C selama 2 jam lalu didiamkan selama 28 hari. Setelah sampel berumur 28 hari, sampel kemudian dikarakterisasi dengan alat uji SEM untuk mengetahui sifat morfologi sampel, massa jenis & porositas untuk mengetahui sifat fisis sampel, kuat tekan & kuat lentur untuk mengetahui sifat mekanik sampel, dan uji getar sederhana untuk mengetahui seberapa lama sampel runtuh jika diberi getaran yang konstan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi *Scanning Electron Microcopy* (SEM)



Gambar 1 Morfologi SEM Komposit Ringan Geopolimer Berpori Tanpa Serat (a) dan Komposit Ringan Geopolimer Berpori dengan Serat Bambu (b) Perbesaran 240×

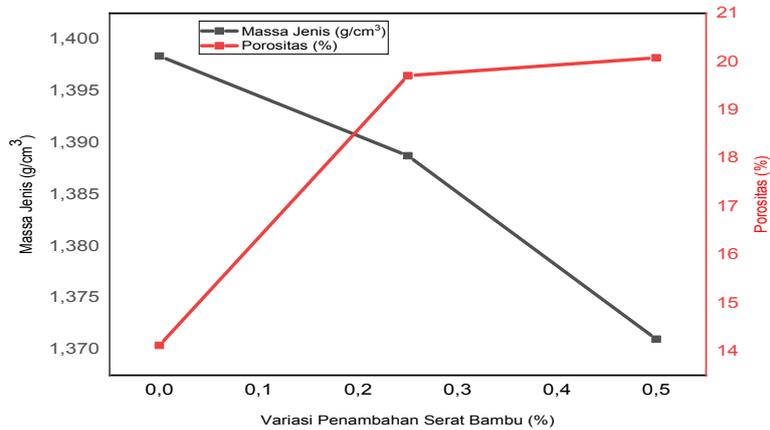
Gambar 1 menunjukkan citra SEM dari sampel komposit ringan geopolimer berpori tanpa serat (a) dan sampel komposit ringan geopolimer berpori dengan serat bambu (b). Pada morfologi sampel geopolimer berpori tanpa serat menunjukkan bahwa struktur material yang teramati tidak homogen yang berarti pori-pori terdistribusi secara tidak merata dan ukurannya bervariasi sehingga terlihat retakan. Pada morfologi sampel geopolimer berpori serat bambu terlihat bahwa geopolimer berpori dengan serat bambu telah berikatan, tetapi terlihat retakan yang sangat kecil, dimana hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi ikatan yang baik antara serat dengan geopolimer berpori.

Karakterisasi Massa Jenis dan Porositas

Tabel 1 Hubungan Antara Penambahan Serat Bambu Terhadap

Massa Jenis Rata-rata dan Porositas Rata-rata Sampel

Kode	Massa jenis rata-rata (g/cm ³)	Porositas (%)
Geo-SB 0%	1,39 ± 0,02	14,11 ± 0,72
Geo-SB 0,25%	1,38 ± 0,01	19,70 ± 1,12
Geo-SB 0,5 %	1,37 ± 0,04	20,07 ± 3,17



Gambar 2 Grafik Hubungan Antara Penambahan Serat Bambu Terhadap Massa Jenis Rata-rata dan Porositas Rata-rata Sampel

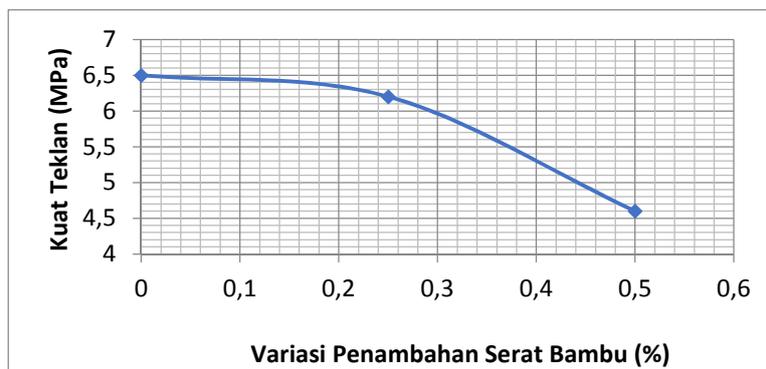
Berdasarkan Tabel 1 tersebut, dapat dijelaskan bahwa semakin banyak penambahan serat bambu pada pasta geopolimer berpori, maka massa jenis akan semakin berkurang dan porositasnya semakin bertambah. Sebaliknya, semakin sedikit penambahan serat bambu pada pasta geopolimer berpori, maka massa jenis akan semakin bertambah dan porositasnya semakin berkurang. Gambar 2 menunjukkan bahwa grafiknya tidak linear dikarenakan pada saat memasukkan sampel kedalam cetakan, terjadi proses pematangan (*setting*) yang tidak merata menyebabkan beberapa sampel ada yang terlalu padat dan juga disebabkan oleh cara mengeluarkan sampel dari cetakan yang kurang hati-hati sehingga ada pori yang terbuka.

Karakterisasi Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Tabel 2 Data dan Hasil Analisis Pengukuran Kuat Tekan Komposit Ringan Geopolimer Berpori Serat Bambu

Sampel	Kode	Diameter (mm)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
Geo-FASB 0%	A	40,8	8,0	6,1	6,5
	B	40,9	8,0	6,1	
	C	40,9	9,0	7,2	
Geo-FASB 0,25%	A	41,2	9,0	6,8	6,2
	B	40,2	8,0	6,3	
	C	40,8	7,0	5,4	

Geo-FASB 0,5%	A	41,0	5,0	3,8	4,6
	B	40,7	6,7	4,6	
	C	41,2	7,0	5,3	



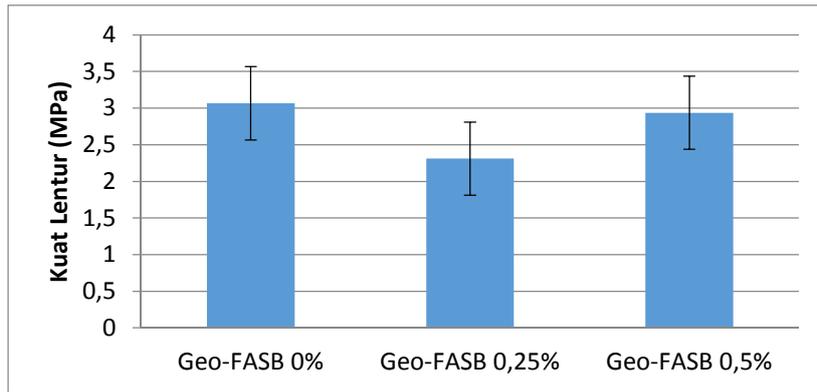
Gambar 3 Grafik Hubungan Antara Variasi Penambahan Serat Bambu Terhadap Kuat Tekan

Pada Tabel 2 di atas, dapat dilihat bahwa untuk Geo-FASB 0% memiliki kuat tekan rata-rata yang paling besar yaitu 6,5 MPa. Pada Gambar 3 diatas, dapat dikatakan bahwa kuat tekan komposit ringan geopolimer berpori pada Geo-FASB 0% memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan material geopolimer berpori yang memiliki variasi penambahan serat bambu. Pada saat penambahan serat bambu membuat larutan alkali yang mengaktivasi *fly ash* tidak cukup kuat untuk mengikat ikatan partikel *fly ash* dan serat bambu atau dengan kata lain terjadi penurunan energi ikat antara *fly ash* dengan serat bambu. Hal ini didukung pula oleh citra morfologi *scanning electron microscopy* (SEM) pada sampel komposit ringan geopolimer berpori-serat bambu (Geo-FASB).

Karakterisasi Kuat Lentur (*Flexural Strenght*)

Tabel 3 Data dan Hasil Analisis Pengukuran Kuat Lentur Komposit Ringan Geopolimer Berpori Serat Bambu

Sampel	Kode	Beban (kN)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
Geo-FASB 0%	A	0,20	3,89	3,06 ± 0,77
	B	0,12	2,36	
	C	0,12	2,95	
Geo-FASB 0,25%	A	0,16	2,61	2,31 ± 0,29
	B	0,12	2,30	
	C	0,12	2,03	
Geo-FASB 0,5%	A	0,14	3,24	2,93 ± 0,38
	B	0,12	2,50	
	C	0,16	3,07	



Gambar 4 Diagram Batang Hasil Kuat Lentur Ketiga Sampel Geopolimer dengan Variasi Penambahan Serat Bambu

Pada Tabel 3 di atas, dapat dilihat bahwa untuk Geo-FASB 0% memiliki kuat lentur rata-rata yang paling besar yaitu 3,06 MPa. Pada Gambar 4 tersebut, dapat dikatakan bahwa kuat lentur komposit ringan geopolimer berpori pada Geo-FASB 0% memiliki kuat lentur yang lebih besar dibandingkan dengan material geopolimer berpori yang memiliki variasi penambahan serat bambu. Ketidakesuaian nilai kuat lentur dikarenakan ketidakakuratan alat uji kuat lentur sehingga menyebabkan sampel Geo-FASB 0% memiliki kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan pada sampel variasi penambahan serat bambu yang lain. Hal tersebut dapat dilihat pada nilai simpangan (deviasi) yang sangat tinggi pada sampel Geo-FASB 0%. Namun, pada penambahan serat bambu 0,25% dan 0,5% nilai simpangan (deviasi) yang tidak jauh berbeda sehingga terlihat ketelitian dan keakuratannya yang menyebabkan peningkatan nilai kuat lentur.

Uji Ketahanan Beton

Tabel 4.4 Data dan Hasil Analisis Pengukuran Uji Ketahanan Beton Komposit Ringan Geopolimer Berpori Serat Bambu

Jenis Sampel	Frekuensi, f (Hz)	Waktu, t (s)
Geo-FASB 0%		35
Geo-FASB 0,25%	4,5	57
Geo-FASB 0,5%		68



Gambar 5 Grafik Hubungan Antara Variasi Penambahan Serat Bambu Terhadap Waktu Getaran

Pada Tabel 4 diatas, dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki waktu bertahan terbesar terhadap getaran adalah Geo-FASB 0,5% sebesar 68 s. Pada Gambar 5 tersebut, dapat dikatakan

bahwa sampel komposit ringan geopolimer berpori pada Geo-FASB 0,5% memiliki waktu bertahan terhadap getaran yang lebih besar dibandingkan dengan material geopolimer berpori yang memiliki penambahan serat bambu 0% dan 0,25%. Hasil ini dapat dikatakan bahwa material komposit yang disintesis berbahan dasar *fly ash* sebagai pengikat dan serat bambu sebagai matriks (agregat) layak diaplikasikan sebagai bahan rumah berbentuk *dome* anti gempa.

Penyebab perbedaan antara data kuat tekan dan kuat lentur dengan kekuatan getar adalah ketidakhomogenan sampel setiap pengujian. Sampel-sampel tersebut disintesis dengan *batch* yang berbeda, karena bentuk sampel yang disesuaikan dengan teknik pengujian. Kuat tekan mengukur daya tahan sampel geopolimer berpori-serat bambu terhadap tekanan luar searah dengan arah serat (*axial strength*). Kuat lentur menahan beban dengan arah tegak lurus dengan beban luar yang diberikan terhadap sampel geopolimer berpori-serat bambu. Kekuatan getar bekerja secara transversal, yaitu arah getarannya tegak lurus dengan arah sampel saat diberi getaran dan secara longitudinal, yaitu arah getarannya searah dengan arah sampel saat diberi getaran.

D. SIMPULAN

1. Pengaruh penambahan serat bambu terhadap massa jenis dan porositas komposit ringan geopolimer berpori yaitu setiap penambahan serat bambu menyebabkan terjadinya penurunan nilai massa jenis rata-rata dari sampel geopolimer berpori dan kenaikan nilai porositas rata-rata dari sampel geopolimer berpori.
2. Pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat tekan dan kuat lentur komposit ringan geopolimer berpori yaitu kuat tekan dan kuat lentur komposit ringan geopolimer berpori pada Geo-FASB 0% memiliki kuat tekan dan kuat lentur yang lebih besar dibandingkan dengan material geopolimer berpori yang memiliki variasi penambahan serat bambu (Geo-FASB 0,25% dan Geo-FASB 0,5%).
3. Sampel komposit ringan geopolimer berpori pada Geo-FASB 0,5% memiliki waktu bertahan terhadap getaran yang lebih besar dibandingkan dengan material geopolimer berpori yang memiliki penambahan serat bambu 0% dan 0,25%. Hasil pengujian ketahanan beton geopolimer berpori menunjukkan bahwa penambahan serat bambu berpengaruh terhadap kenaikan waktu ketahanannya terhadap getaran yang diberikan.

DAFTAR RUJUKAN

- Dwi A, M. R., Karmiadji, D. W. dan Prasetyo, E. (2020) 'Komposit Sandwich Hybrid Kombinasi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Serat Kaca Dengan Matrix Polyurethane', *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 5(2), p. 57. doi: 10.25105/pdk.v5i2.7360.
- Junnaidy, R. *et al.* (2017) 'Penggunaan serat bambu pada campuran beton untuk meningkatkan

- daktalitas pada keruntuhan beton', 3, pp. 131–135. doi: 10.21063/spi3.1017.131-135.
- Malkawi, A. B. *et al.* (2018) 'Dielectric properties for characterization of fly ash-based geopolymer binders', *Construction and Building Materials*, 189, pp. 19–32. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.180.
- Nazim, A. R. M., Ansari, M. N. M. and Atiqah, A. (2019) 'Impact strength and morphological properties of Kenaf/glass fibre/polyester hybrid composite for attenuator application', *Materials Today: Proceedings*, 29(November 2018), pp. 119–122. doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.683.
- Nugroho, Y. D. (2016). *Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta*. 78.
- Petlitzkaia, S. and Poulesquen, A. (2019) 'Design of lightweight metakaolin based geopolymer foamed with hydrogen peroxide', *Ceramics International*, 45(1), pp. 1322–1330. doi: 10.1016/j.ceramint.2018.10.021.
- Pratama, D. R., Santosa, H. dan Adhitama, M. S. (2016) 'Pola Perubahan Desain Rumah Dome Pasca Bencana Gempa di Prambanan, Sleman, Yogyakarta'.
- Putra Marindrha, P. (2018) 'Adaptasi Spasial Pada Rumah Dome Ngelepen Sumberharjo, Prambanan, Sleman', *INERSIA: INformasi dan Ekspose hasil Riset teknik Sipil dan Arsitektur*, 14(1), pp. 90–100. doi: 10.21831/inersia.v14i1.19497.
- Rashidian-Dezfouli, H. and Rangaraju, P. R. (2017) 'A comparative study on the durability of geopolymers produced with ground glass fiber, fly ash, and glass-powder in sodium sulfate solution', *Construction and Building Materials*, 153, pp. 996–1009. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.139.
- Roviello, G. *et al.* (2013) 'Synthesis and characterization of novel epoxy geopolymer hybrid composites', *Materials*, 6(9), pp. 3943–3962. doi: 10.3390/ma6093943.
- Senff, L. *et al.* (2020) 'Eco-friendly approach to enhance the mechanical performance of geopolymer foams: Using glass fibre waste coming from wind blade production', *Construction and Building Materials*, 239, p. 117805. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117805.
- Subaer, (2015). *Pengantar Fisika Geopolimer*. Jakarta: DP2M Dikti.
- Wang, W. C. *et al.* (2020) 'Effect of high temperature on the strength and thermal conductivity of glass fiber concrete', *Construction and Building Materials*, 245, p. 118387. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118387.
- Warsito, W. dan Rahmawati, A. (2020) 'Variasi Abu Ampas Tebu dan Serat Bambu sebagai Bahan Campuran Pembuatan Beton Ramah Lingkungan', *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(2), pp. 109–117. doi: 10.26760/jrh.v4i2.62-70.