

PENGARUH PERBANDINGAN MOLAR OKSIDA $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ TERHADAP SIFAT MEKANIK GEOPOLIMER BERBASIS LATERITE DEPOSIT BONE

Farina¹, Subaer¹, dan Abdul Haris¹

¹Jurusan Fisika, Pusat Penelitian Material dan Teknologi Hijau,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar
e-mail: farinarihlan25@gmail.com, subaer@unm.ac.id, harisbakri@yahoo.co.id

Abstract: The main objective of this research is to determine the effect of molar oxides of $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ to the mechanical properties of geopolymer based on laterite soil deposit Bone. Geopolymers were produced through alkali-activation method of dehydroxylation laterite. Dehydroxylation was performed by using high-temperature furnace at 750°C for 4 hours. The chemical compositions and the microstructure properties of the starting and the resulting materials were characterized based on *X-Ray Diffraction* (XRD) and *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Measurements of bulk density, apparent porosity and compressive strength were carried out by using Archimedes method and Universal Testing Machine. The results showed that the highest phase of the starting material was quartz (SiO_2). The physical properties of geopolymers was examined from the value of their bulk density, apparent porosity and the magnitude of their compressive strength. The results showed that the value of the porosity and the density are inversely proportional, the smaller the porosity, the greater the density. The highest compressive strength value was 6.33 MPa obtained from the sample designated as K6. It was found that geopolymer based on Bone laterite exhibited good mechanical properties.

Keywords: bulk density, apparent porosity, geopolymer, laterite, mechanical properties.

1. PENDAHULUAN

Tanah laterite merupakan jenis tanah lempung yang sangat mudah diperoleh. Sulawesi Selatan merupakan salah satu daerah yang kaya akan endapan laterite (Subaer dkk., 2017). Laterite memiliki senyawa kimia $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ yang bersumber dari mineral kaolin dan sebagian besar ion Al^{3+} digantikan oleh Fe^{2+} atau Fe^{3+} akibat proses pelapukan. Penggantian aluminium dengan atom besi dalam struktur kaolin dapat mempengaruhi kristalinitas laterite. Proses pelapukan tanah laterite dipengaruhi oleh faktor iklim, topografi dan keadaan lokasi geografis (Kolawole, Olugbemi, Kolawole, Owa, & Ajayi, 2017). Laterite dikategorikan sebagai material aluminasilikat yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar sintesis geopolimer. Geopolimer adalah material anorganik yang terdiri atas alumina, silika dan oksida logam alkali. Geopolimer biasanya disintesis dari bahan dasar seperti fly ash, metakaolin, slag dan lempung (Subaer, Haris, Irhamsyah, Akifah, & Amalia, 2019).

Geopolimer memiliki struktur yang mirip zeolit dengan fase amorf. Keunggulan geopolimer yaitu memiliki kekuatan mekanik yang baik, tahan api dan panas serta tahan terhadap serangan zat kimia, permeabilitas yang rendah (Shojaei, Behfarnia, & Mohebi, 2015; Zhang, Kodur, Wu, Cao, & Wang, 2016).

Sintesis geopolimer berbasis laterite menggunakan metode aktivasi alkali dengan perbandingan rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (Shojaei dkk., 2015).

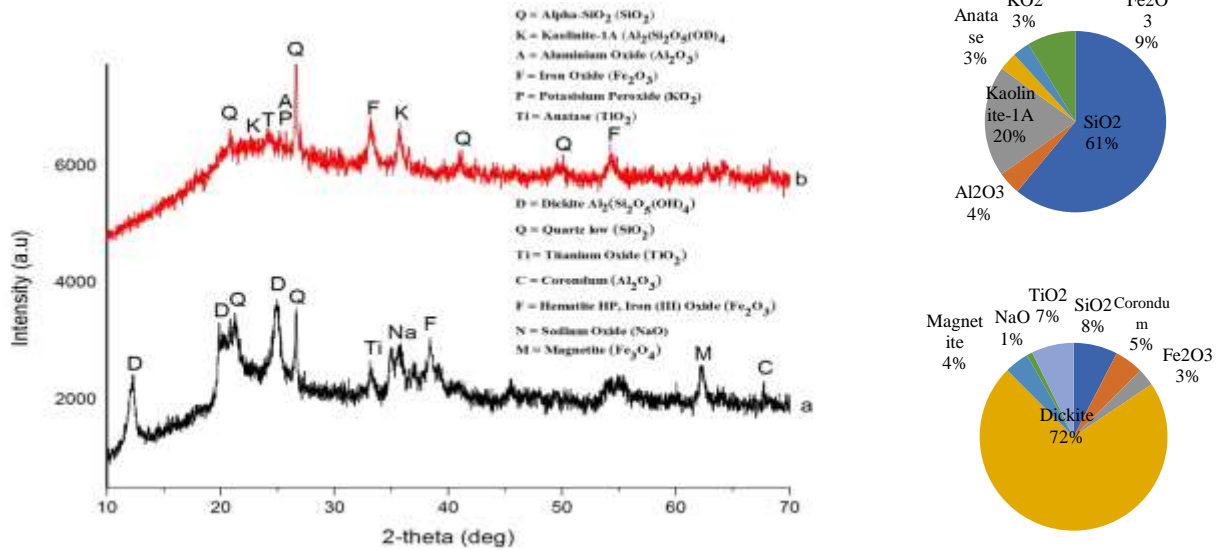
Karakteristik produk akhir dari geopolimer bergantung pada temperatur kalsinasi, mineralogi laterite dan kondisi sintesis (Kaze dkk., 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pimraksa et al., (2011), pengaruh perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 22,5 dan $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1,7 terhadap kualitas geopolimer dengan penambahan abu sekam padi sebanyak 35% dapat meningkatkan kekuatan tekan (*compressive strenght*) geopolimer. Selain itu Lemougna et al., (2014), menunjukkan kekuatan mekanik geopolimer berbahan dasar laterite yaitu 12-51 MPa. Untuk meningkatkan sifat mekanik laterite diperlukan penambahan abu sekam padi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ningsih et al., (2012), menyatakan bahwa penambahan abu sekam padi dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer.

2. METODE PENELITIAN

Bahan dasar lempung dibersihkan dari kotoran dan direndam selama 24 jam kemudian disaring untuk memperoleh butiran halus dari laterite. Setelah itu dikeringkan pada suhu 100°C , laterite yang telah kering kemudian ditapis menggunakan ayakan 200 mesh. Selanjutnya, laterite didehidroksilasi pada temperatur 750°C selama 4 jam untuk merubah fase kristal menjadi fase amorf. Pada penelitian ini disintesis sebanyak 3 sampel dengan perbandingan komposisi perbandingan molar oksida $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ (3, 5, dan 6) dan $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ (0.2, 0.2 dan 0.3). Sintesis geopolimer dilakukan menggunakan metode aktivasi alkali dari bahan laterite yang terhidroksilasi. Struktur kristal dan fase dari sampel geopolimer berbasis laterite diidentifikasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Mikrostruktur dari sampel diidentifikasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Pengukuran massa jenis, porositas dan kuat tekan digunakan untuk mengidentifikasi sifat mekanik dari sampel.

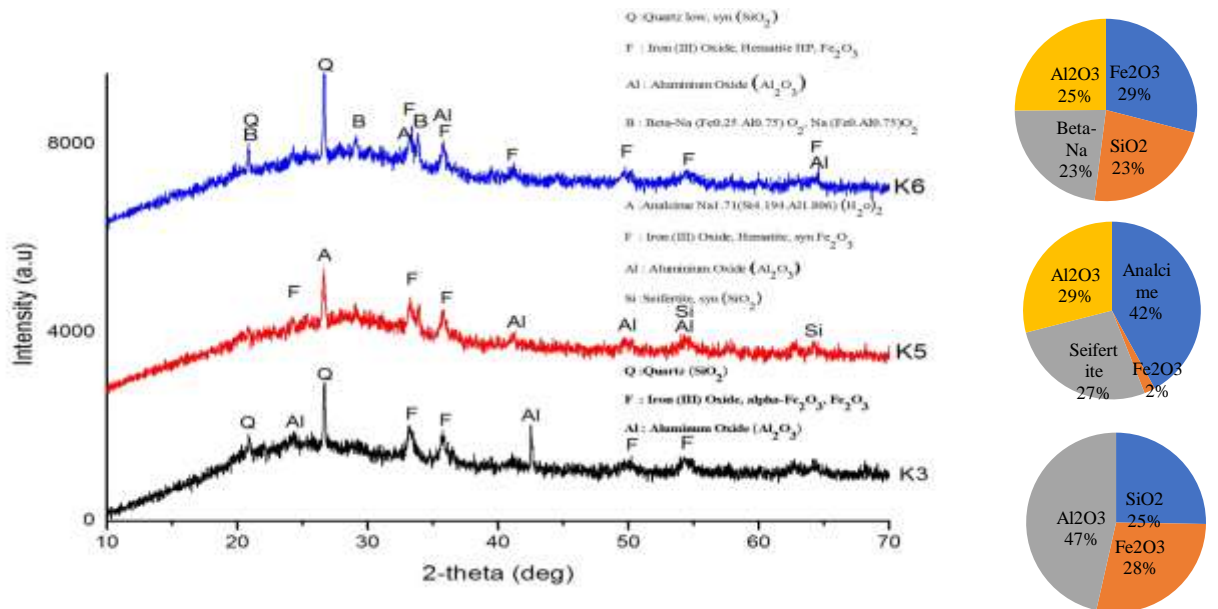
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1. Menunjukkan pola difraktogram laterite sebelum dan sesudah dehidroksilasi pada rentang sudut $10^\circ - 70^\circ 2\theta$. Perubahan fase tampak terjadi pada rentang sudut $20^\circ - 30^\circ 2\theta$. Difraktogram tersebut menunjukkan puncak-puncak kristal yang ditandai dengan tingginya intensitas yang diidentifikasi sebagai fase *dickite* $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$ dan diberi notasi D sebesar 72wt%. Fase *dickite* adalah mineral dari keluarga kaolin. Ketika material ini didehidroksilasi, gugus hidroksil runtuh, sehingga fase kristalnya hilang seperti yang terlihat pada gambar bagian b, dan menyisakan fase kaolin sebesar 20%. Fase *quartz* (SiO_2) tetap utuh oleh karena mineral ini tidak mengalami perubahan fase pada temperatur 750°C .



Gambar 1. Difraktogram Laterite Deposit Bone (a) sebelum dan (b) setelah dehidroksilasi

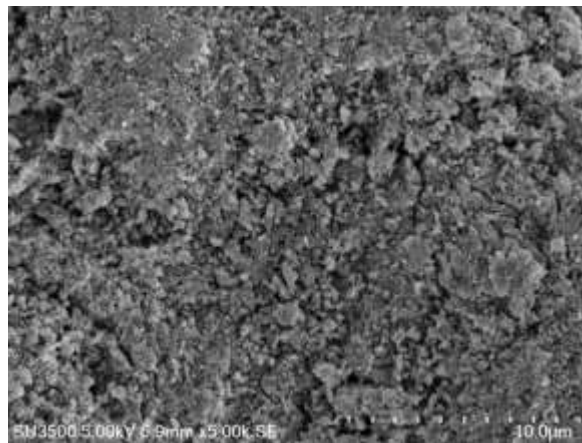
Gambar 1 menunjukkan hasil analisis XRD sampel geopolimer berbasis laterite pada sudut $10^{\circ} - 70^{\circ} 2\theta$ untuk ketiga komposisi. Ketiga sampel mengalami perubahan fase yang disebabkan oleh perbedaan komposisi kimia dari perbandingan SiO_2/Al_2O_3 dan larutan alkali yang digunakan sebagai aktivator.



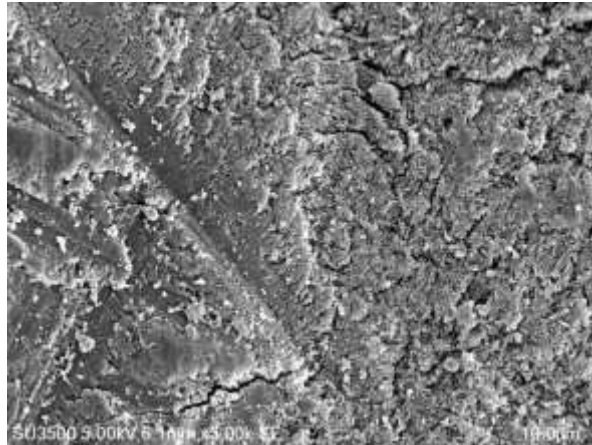
Gambar 2. Difraktogram Geopolimer Laterite Komposisi K3, K5 dan K6

Gambar 2. Menunjukkan pola hasil analisis XRD untuk ketiga komposisi geopolimer berbasis laterite dengan perbandingan molar Si:Al, Na:Al dan

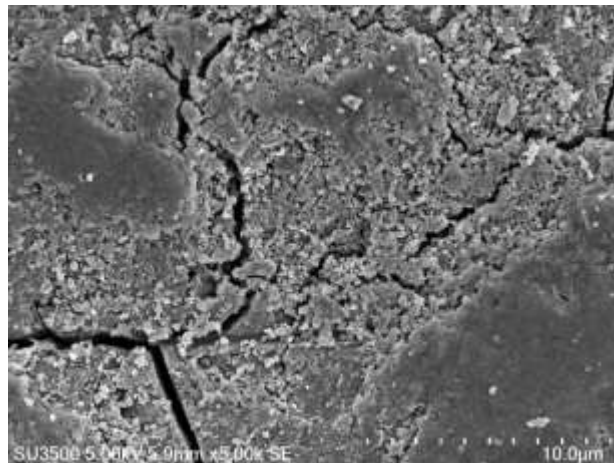
H₂O:Na₂O yang berbeda. Pada sampel dengan kode K3 terdapat 3 fase utama, yakni aluminum oxide (Al₂O₃) sebesar 46%, quartz (SiO₂) sebesar 25 % dan iron (III) Oxida, alpha-Fe₂O₃ sebesar 28%. Sampel K5 didominasi oleh fase Analcime (NaAlSi₂O₆.H₂O) sebesar 42% , hematite (Fe₂O₃) sebesar 2%, Seifertite sebesar 27% dan Aluminium Oxide (Al₂O₃) sebesar 29%. Sedangkan untuk sampel K6 didominasi oleh fase iron (III) oxide, hematite (Fe₂O₃) sebesar 29%, *quartz low* (SiO₂) sebesar 23%, Beta-Na sebesar 22,9% dan Aluminium Oxide (Fe₂O₃) sebesar 25,1%. Perbedaan komposisi molar rasio menyebabkan terjadinya pergeseran fase penyusun geopolimer. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan adanya oksida dan senyawa seperti seperti SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃, *Beta-Na*(Fe_{0.25}Al_{0.75})O₂, Na(Fe₀.Al_{0.75})O₂ yang merupakan jaringan utama penyusun geopolimer yang dikenal sebagai tipe *Na-Poly(Ferro-Sialate-Siloxo)*. Perbedaan fase dari ketiga sampel tersebut sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik, struktur mikro dan distribusi pori geopolimer berbasis laterite.



Gambar 3. Citra SEM permukaan sampel geopolimer laterite komposisi K3

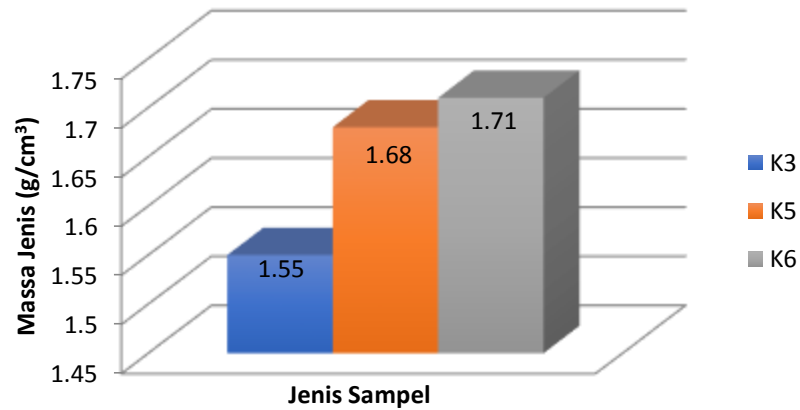


Gambar 4. Citra SEM permukaan sampel geopolimer laterite komposisi K5

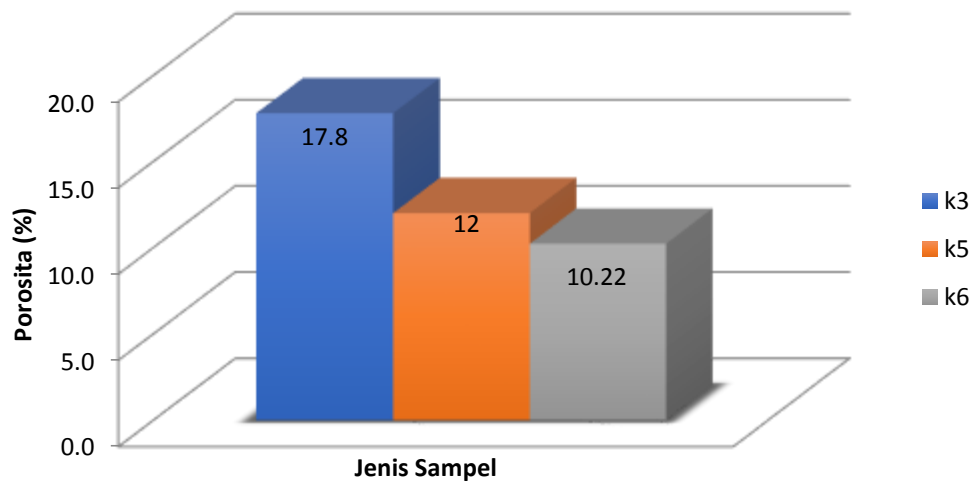


Gambar 5. Citra SEM permukaan sampel geopolimer laterite komposisi K6

Morfologi pasta geopolimer laterite deposit Bone dapat dilihat berdasarkan hasil karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada gambar 3, gambar 4 dan gambar 5. Sampel geopolimer dengan rasio molar oksida $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2 = 0,2$ dan $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}:10$ untuk komposisi K3 tampak belum memiliki morfologi yang homogen, laterite pembentuk matrix masih membentuk ikatan kimia yang sempurna dan masih berbentuk butiran dengan ukuran yang tidak seragam. Ketika perbandingan molar SiO_2 jauh lebih besar dibandingkan Al_2O_3 , maka morfologi sampel semakin padat yang berikatan dengan larutan alkali, seperti gambar 4 dan gambar 5. Pada komposisi K5 dan komposisi K6 terlihat adanya retakan disekitar permukaan sampel. Retakan ini dikenal sebagai retakan sekunder yang disebabkan oleh proses pemrosesan pada saat preparasi sampel. Selain itu *grey level* yang berbeda menunjukkan perbedaan nomor atom. Perbedaan morfologi ketiga komposisi menunjukkan bahwa perbedaan rasio molar berpengaruh terhadap morfologi pasta geopolimer.



Gambar 6. Massa jenis geopolimer berbasis laterite dengan komposisi yang berbeda



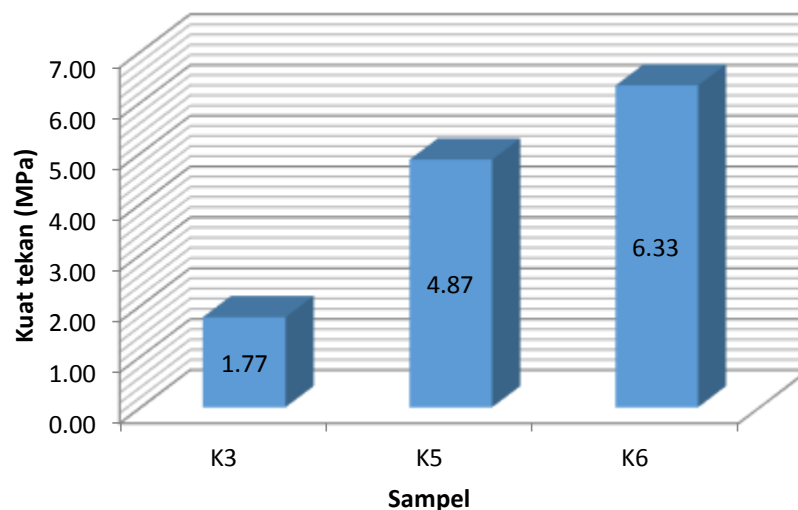
Gambar 6. Porositas tampak pada sampel geopolimer dengan komposisi yang berbeda

Pengukuran porositas bertujuan untuk mengetahui besar ukuran ruang kosong diantara suatu material, sedangkan pengukuran massa jenis dilakukan untuk menentukan kerapatan materi penyusun sebuah bahan. Gambar 6 dan 7 merupakan hasil pengukuran massa jenis dan porositas untuk sampel geopolimer berbasis laterite deposit bone dengan variasi perbandingan molar yang berbeda-beda dan diperoleh massa jenis tertinggi pada sampel komposisi

K6 sebesar $1,71 \text{ g/cm}^3$ dan porositas semakin kecil yakni sebesar 10,22%. Massa jenis yang tinggi juga menunjukkan sifat mekanik yang semakin baik. Hal ini identik dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Kaze et al., (2020) yang menunjukkan semakin semakin besar massa jenis suatu sampel, maka semakin kecil porositasnya, dan semakin kecil massa jenis, maka semakin besar porositas yang diperoleh.

Tabel 1. Hasil pengujian Kuat Tekan geopolimer berbasis laterite dengan variasi perbandingan molar

No	Jenis Sampel	Rata-rata Kuat Tekan(MPa) Geopolimer laterite
1	K3	1,6 MPa
		1,8 MPa
		1,9 MPa
2	K5	4,2 MPa
		5,2 MPa
		5,2 MPa
3	K6	5,9 MPa
		6,5 MPa
		6,6 MPa



Gambar 7. Grafik pengujian kuat tekan (*compressive strength*) komposisi K3 K5 & K6 geopolimer deposit Bone menggunakan *Universal testing machine*

Gambar 7. merupakan hasil pengujian kuat tekan geopolimer berbasis laterite deposit Bone. Sampel yang diuji berbentuk silinder dengan diameter 2.5 cm dan dimensi 5,0 cm. Setiap variasi perbandingan molar masing-masing 3

benda uji sehingga dapat dilakukan pengukuran rata-rata. Gambar 7. menunjukkan nilai kuat tekan maksimum rata-rata diperoleh pada K6 sebesar 6,33 MPa dengan perbandingan molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 0.3. Kekuatan tekan geopolimer berbasis laterite sangat berkaitan dengan perbandingan rasio Si/Al dari bahan dasar selama proses polimerisasi. Proses polimerisasi dibangun dari jaringan struktur SiO_2 dan Al_3O_4 dan dihubungkan dengan jembatan oksigen. Faktor yang lain yang mempengaruhi kuat tekan geopolimer adalah volume air reaksi yang tersisa di dalam bahan (Bodian dkk., 2018). Selain volume air, kuat tekan geopolimer sangat bergantung pada temperatur kalsinasi dan kehadiran pori (Kaze dkk., 2020)

4. SIMPULAN

Analisis XRD menunjukkan laterite yang digunakan untuk sintesis geopolimer terdiri atas Fe, Si dan Al sebagai penyusun utama. Sampel dengan komposisi K3 didominasi fase oleh *aluminum oxide* (Al_2O_3) sebesar 46%, komposisi K5 didominasi oleh fase *Analcime* ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) sebesar 42% dan komposisi K6 didominasi oleh *hematite* (Fe_2O_3) sebesar 29%. Perbedaan molar oksida menyebabkan terjadi pergeseran fase penyusun geopolimer. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kandungan oksida laterite seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan Beta- $\text{Na}(\text{Fe}_{0.25}\text{Al}_{0.75})\text{O}_2$, $\text{Na}(\text{Fe}_{0.1}\text{Al}_{0.75})\text{O}_2$ merupakan jaringan utama penyusun geopolimer tipe *Na-Poly(Ferro-Sialate-siloxo)*. Morfologi sampel geopolimer untuk ketiga komposisi bahwa menunjukkan ketika perbandingan molar SiO_2 jauh lebih besar dibandingkan Al_2O_3 , maka morfologi sampel semakin padat, massa jenis semakin besar dan porositas menurun sehingga sifat mekanik semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bodian, S., Faye, M., Sene, N. A., Sambou, V., Limam, O., & Thiam, A. (2018). Thermo-mechanical behavior of unfired bricks and fired bricks made from a mixture of clay soil and laterite. *Journal of Building Engineering*, 18, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.03.014>
- Kaze, C. R., Djobo, J. N. Y., Nana, A., Tchakoute, H. K., Kamseu, E., Melo, U. C., ... Rahier, H. (2018). Effect of silicate modulus on the setting, mechanical strength and microstructure of iron-rich aluminosilicate (laterite) based-geopolymer cured at room temperature. *Ceramics International*, 44(17), 21442–21450. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.08.205>
- Kaze, C. R., Venyite, P., Nana, A., Juvenal, D. N., Tchakoute, H. K., Rahier, H., ... Leonelli, C. (2020). Meta-halloysite to improve compactness in iron-rich laterite-based alkali activated materials. *Materials Chemistry and Physics*, 239, 122268. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122268>
- Kolawole, F. O., Olugbemi, O. M., Kolawole, S. K., Owa, A. F., & Ajayi, E. S. (2017). Fracture Toughness and Strength of Bamboo-Fiber Reinforced Laterite as Building Block Material. *Universal Journal of Materials Science*, 5(3), 64–72. <https://doi.org/10.13189/ujms.2017.050302>
- Puspitasari, Y., & Atmaja, L. (t.t.). *SINTESIS DAN KARAKTERISASI GEOPOLIMER BERDASARKAN VARIASI RASIO MOL $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ DARI ABU LAYANG PLTU SURALAYA*. 6.

- Shojaei, M., Behfarnia, K., & Mohebi, R. (2015). Application of alkali-activated slag concrete in railway sleepers. *Materials & Design*, 69, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.12.051>
- Subaer, Amalia, N., Nurfadilla, Riska, A., Sulfiana, & San, F. P. (2017). The Potential of Laterite Soils Deposit South Sulawesi as a Precursor for Na-Poly (Ferro-Sialate) Geopolymers. *MATEC Web of Conferences*, 97, 01014. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20179701014>
- Subaer, Haris, A., Irhamsyah, A., Akifah, N., & Amalia, N. S. (2019). Physico-Mechanical Properties of Geopolymer Based on Laterite Deposit Sidrap, South Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*, 1244, 012037. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1244/1/012037>
- Zhang, H. Y., Kodur, V., Wu, B., Cao, L., & Wang, F. (2016). Thermal behavior and mechanical properties of geopolymer mortar after exposure to elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 109, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.043>