



## Pemanfaatan Serat Daun Nanas dalam Sintesis Geopolimer Berbasis Abu Layang Batubara

Aisyah Khoirotnun Hisan ✉, Ella Kusumastuti, dan F. Widhi Mahatmanti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

### Info Artikel

Diterima: Mei 2017

Disetujui: Juli 2017

Dipublikasikan: Agustus  
2017

#### Keywords:

coal fly ash  
geopolimer  
fabric

### Abstrak

Sintesis geopolimer dengan penambahan serat daun nanas telah dilakukan. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan abu layang, NaOH, dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  pada rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  5,29 mol, kemudian ditambahkan serat daun nanas dengan variasi 0-2,5% (b/b). Penambahan serat optimum terjadi pada 1,5% (b/b) dengan kuat tekan 41,91 MPa dan kuat tarik belah 16,28 MPa. Sampel uji geopolimer dengan penambahan serat 1,5% memiliki fasa *amorf* yang relatif lebih besar jika dibandingkan dengan sampel uji 0 dan 2,5% serat. Analisis gugus fungsi geopolimer dengan FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) menunjukkan adanya gugus CH pada  $2924,09 \text{ cm}^{-1}$ . Analisis morfologi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan bahwa morfologi terlihat lebih homogen dan terdapat partikel serat yang berada di antara matriks geopolimer.

### Abstract

Geopolymer synthesis with the addition of pineapple leaf fibers have been done. Synthesis is done by mixing fly ash, NaOH, and  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  at a ratio of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  5.29 mol, then add pineapple leaf fibers with variations from 0 to 2.5% (w/w). The addition of optimum fiber occurred in 1.5% (w/w) with a compressive strength of 41.91 MPa and 16.28 MPa tensile strength sides. Geopolymer test samples with addition of 1.5% fibers have an amorphous phase is relatively large when compared to the test sample 0 and 2.5% fiber. Chemical bonds analysis of geopolymer by FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) showed that bond CH at  $2924.09 \text{ cm}^{-1}$ . Morphology analysis using SEM (*Scanning Electron Microscopy*) showed that the morphology looks more homogeneous and there is a fiber particles that are among the geopolymer matrix.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: [aisyakhkhoirotnunh@gmail.com](mailto:aisyakhkhoirotnunh@gmail.com)

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

## Pendahuluan

Berbagai upaya dan inovasi untuk menciptakan material yang potensial sebagai pengganti semen semakin marak dikembangkan pada era kini, salah satunya yaitu geopolimer. Geopolimer merupakan teknologi yang menjanjikan/prospektif untuk menggantikan fungsi semen dalam bidang konstruksi. Oleh karena itu, geopolimer dapat digunakan untuk mengatasi pemanasan global akibat emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan dari produksi semen. Teknologi geopolimerisasi telah sangat berkembang, bahkan dengan memanfaatkan material yang berupa limbah di lingkungan yaitu dengan mengembangkan geopolimer berbahan dasar abu layang batubara.

Geopolimer mempunyai kelebihan seperti bahan yang tersedia melimpah, ketahan terhadap asam, ketahanan termal yang baik dan tidak membutuhkan energi yang besar dalam proses pembuatannya. Geopolimer mempunyai kelemahan yaitu sifatnya yang (*brittle*) rapuh (Gerung; 2012). Hal ini mendorong pengembangan geopolimer lebih lanjut untuk meningkatkan kuat tarik belah geopolimer. Anwar & Kusumastuti (2015), mempelajari sifat fisik dan kimia geopolimer berbasis abu layang yang diperkuat dengan serat batang pisang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat batang pisang dapat meningkatkan kuat tarik belah komposit geopolimer.

Serat daun nanas merupakan jenis serat yang berkualitas baik dan merupakan salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai *filler* pada pembuatan komposit. Serat daun nanas mempunyai kekuatan tarik rata-rata 1058,06 MPa (Wijoyo, *et al.*; 2011). Penggabungan dua materi atau lebih yang berbeda dalam hal ini material anorganik dan organik bertujuan untuk memperoleh material baru dengan yang mempunyai sifat lebih baik dan menutupi kekurangan masing-masing bahan dasar.

## Metode

Peralatan yang digunakan dalam penelitian geopolimer meliputi alat penguji kuat tarik belah dan tekan (*universal testing machine*) ELE, XRD (*X-Ray Diffraction*) BRUKER 6000, XRF (*X-Ray Fluorescence*) BRUKER, SEM (*Scanning Electronik Microscopy*) JEOL JSM-6360LA dan FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) Shimadzu 8201 PC. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu layang batu bara yang diambil dari PLTU Karangandri Cilacap, natrium silikat dan natrium hidroksida *grade pro analyst* buatan Merck, aquades, serat daun nanas lokal.

Preparasi abu layang dilakukan dengan diayak menggunakan ayakan 150 *mesh* dan dioven pada suhu 105°C selama 24 jam. Selanjutnya dianalisis komposisi kimia menggunakan XRF untuk mengetahui komponen kimia yang terdapat dalam abu layang PLTU Karangandri Cilacap (Anwar; 2015). Preparasi serat daun nanas dilakukan saat daun nanas masih segar yaitu dengan memisahkan serat dari daging daun nanas. Serat yang sudah terpisah direndam dalam NaOH 10% selama 2 jam (Pramono, *et al.*; 2011) kemudian di netralkan menggunakan aquades dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Serat yang sudah kering diayak menggunakan ayakan 100 *mesh* (Muftil; 2009). Pembuatan larutan pengaktif dilakukan dengan melarutkan 4 g NaOH kedalam 8 g H<sub>2</sub>O kemudian didiamkan selama 24 jam agar proses eksotermal selesai (Anwar & Kusumastuti; 2015).

**Tabel 1.** Komposisi sintesis geopolimer dengan penambahan serat daun nanas

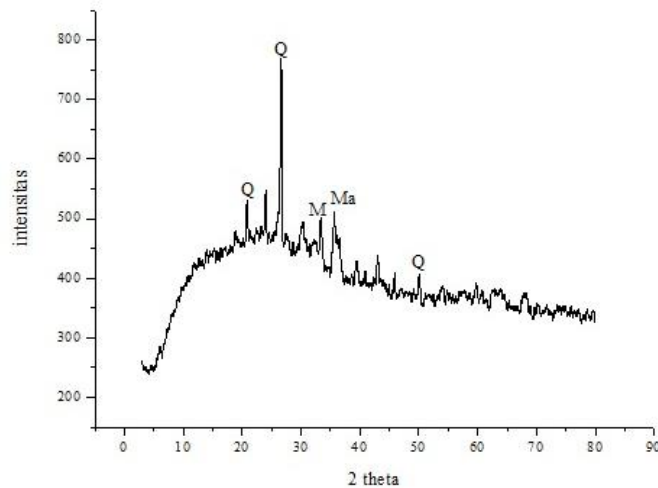
No	Abu layang (g)	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Serat daun nanas % (b/b)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g)	NaOH (g)	H <sub>2</sub> O (g)
1	35,2	5,29	0	8	4	8
2	35,2	5,29	0,5	8	4	8
3	35,2	5,29	1,0	8	4	8
4	35,2	5,29	1,5	8	4	8
5	35,2	5,29	2,0	8	4	8
6	35,2	5,29	2,5	8	4	8

Sintesis geopolimer dilakukan pada rasio mol SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5,29 mol. Sintesis geopolimer dilakukan dengan cara abu layang dan serat daun nanas dicampur dengan larutan alkali sesuai dengan komposisi kemudian diaduk hingga homogen dan terbentuk pasta. Pengadukan dilakukan selama 7 menit hingga pasta geopolimer homogen (Xu & van Deventer; 2000). Pasta tersebut dituang ke cetakan silinder dengan perbandingan diameter dan tinggi 1:2. Penuangan dilakukan bertahap dan divibrasi selama 15 menit (Duxson, *et al.*; 2007). Sampel uji didiamkan selama 24 jam, kemudian *dicuring* menggunakan oven pada suhu 60°C selama 24 jam dan dilepaskan dari cetakan (Anwar & Kusumastuti; 2015). Sampel uji yang sudah dilepaskan dari cetakan, disimpan selama 28 hari kemudian di ukur kuat tekan dan kuat tarik belahnya berdasarkan *ASTM C39M*, XRD untuk mengetahui keamorfian geopolimer, FT-IR untuk

mengetahui ikatan kimia yang terbentuk dan SEM untuk mengamati morfologi permukaan geopolimer. Komposisi bahan sintesis geopolimer dengan penambahan serat tertera pada Tabel 1.

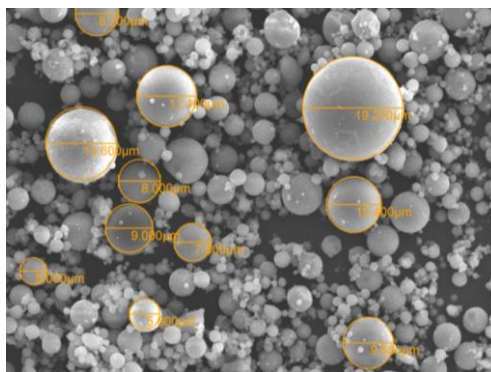
### Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis XRF abu layang batubara dari PLTU Karangandri Cilacap terdiri atas 39,439%  $\text{SiO}_2$ , 15,496%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 13,655%  $\text{CaO}$ , 1,579%  $\text{K}_2\text{O}$ , 26,232  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan 0,478  $\text{Na}_2\text{O}$ . Berdasarkan kandungan  $\text{CaO}$  abu layang batubara dari PLTU Karangandri Cilacap termasuk dalam abu layang kelas C karena kandungan  $\text{CaO} > 10\%$ . Kandungan  $\text{SiO}_2$  sebesar 39,439% menandakan bahwa abu layang PLTU Karangandri Cilacap layak untuk dijadikan bahan utama dalam sintesis geopolimer.



**Gambar 1.** Difraktogram abu layang Cilacap

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa abu layang PLTU Karangandri Cilacap merupakan material *amorf* dengan kandungan utama ( $\text{SiO}_2$ ) *quartz* (Q) pada puncak  $2\theta$  20,88; 26,66; dan 50,19°. Selain itu terdapat ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) *mullite* (M) dan ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) *magnetite* (Ma). Analisis morfologi abu layang batubara ditunjukkan pada Gambar 2 bahwa partikel abu layang yang berbentuk bola (*spherical*) dengan ukuran butiran partikelnya diperkirakan antara 1 sampai 19,2  $\mu\text{m}$ . Semakin kecil dan tidak beraturan bentuk partikel abu layang, semakin reaktif (mudah larut dalam basa) karena luas permukaan bidang sentuh dengan pelarut semakin besar, dalam hal ini adalah NaOH sebagai larutan pengaktif (Adamiec, *et al.*; 2008).

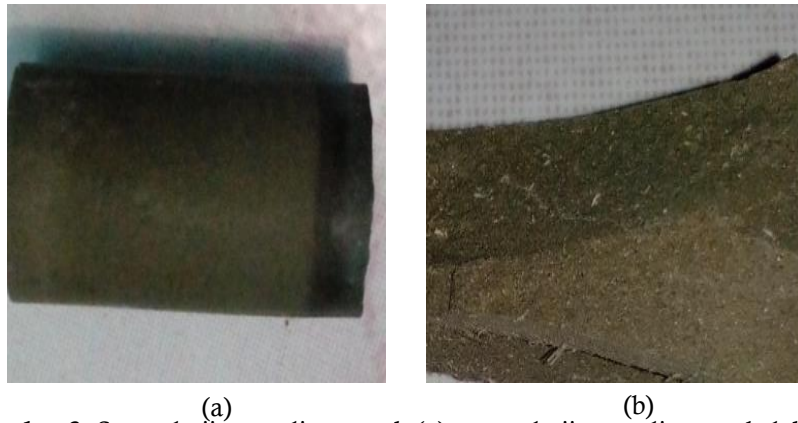


**Gambar 2.** Morfologi abu layang Cilacap

Penelitian ini menggunakan natrium silikat p.a yang belum diketahui persentase  $\text{SiO}_2$  secara pasti sehingga perlu dilakukan pengukuran persentase larutan. Hasil analisis Na Silikat p.a dengan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) didapat bahwa kandungan silika (Si) dalam natrium silikat p.a sebesar 39,139 % yang berguna untuk memperbesar jumlah Si yang terlarut, sehingga didapatkan cukup silikat oligomerik untuk memperpanjang rantai (Kusumastuti; 2009).

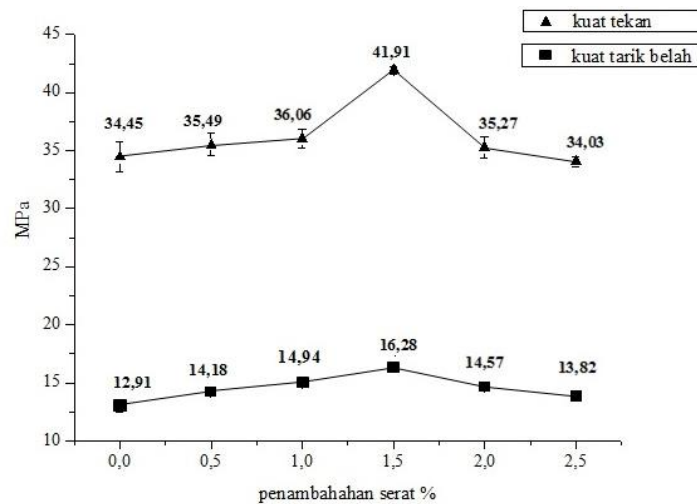
Rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum telah diperoleh dari penelitian variasi mol  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  yaitu 5,29 mol. Kuat tekan dan kuat tarik belah meningkat dengan meningkatnya mol  $\text{SiO}_2$ , akan tetapi kuat tekan dan kuat tarik belah menurun pada geopolimer dengan rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  lebih dari 5,29 mol. Semakin banyak  $\text{SiO}_2$  maka rantai geopolimer yang terbentuk semakin panjang sehingga kuat tekan dan kuat tarik belahnya tinggi (Silva, *et al.*; 2007). Mol  $\text{SiO}_2$  berlebih dapat menyebabkan penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer karena terdapat material yang sisa atau tidak bereaksi.

Rasio  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum dijadikan sebagai acuan dalam sintesis geopolimer dengan variasi penambahan serat daun nanas. Hasil sintesis geopolimer dengan variasi penambahan serat daun nanas ditunjukkan pada Gambar 3. Serat yang ditambahkan dalam geopolimer tidak terlihat jika sampel dalam keadaan utuh karena serat dapat bercampur dengan baik pada pasta geopolimer. Serat akan terlihat saat sampel uji geopolimer dibelah.



**Gambar 3.** Sampel uji geopolimer utuh (a), sampel uji geopolimer terbelah (b)

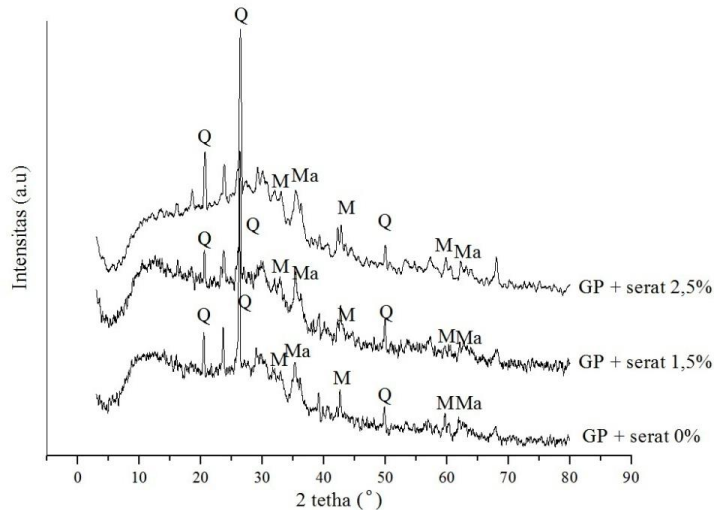
Kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer sangat penting jika geopolimer diaplikasikan sebagai bahan bangunan. Hasil uji kuat tekan dan kuat tarik belah ditunjukkan oleh Gambar 4. Kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer optimum pada penambahan serat 1,5% (b/b) terhadap abu layang.



**Gambar 4.** Diagram kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer

Gambar 4 menunjukkan bahwa kuat tekan dan kuat tarik belah naik hingga penambahan serat 1,5% yaitu sebesar 41,91MPa dan 16,28 MPa. Kenaikan kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer dikarenakan terbentuknya ikatan hidrogen antara serat dan pasta geopolimer. Penambahan serat lebih dari 1,5% mengakibatkan penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer. Penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah geopolimer diakibatkan oleh serat yang berlebih sehingga akan membentuk ruang diantara matriks geopolimer. Hal tersebut terlihat dari hasil uji morfologi menggunakan SEM yang menunjukkan bahwa penambahan serat lebih dari 1,5% terdapat pori dalam sampel geopolimer.

Analisis fasa mineral geopolimer ditunjukkan pada Gambar 5. Pola difraksi yang diperoleh menggambarkan fasa kristal dan amorf. Keberadaan kristal dapat dilihat dari adanya puncak difraksi yang tajam, sedangkan material amorf dapat dilihat dari pola difraksi yang berbentuk gundukan (*hump*) atau intensitas layar (*background*) yang tidak teratur (Pratapa; 2006).



**Gambar 5.** Difraktogram geopolimer, dengan Q = *quartz* ( $\text{SiO}_2$ ), M = *mullite* ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), dan Ma = *magnetite* ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ )

Gambar 5 merupakan difraktogram dari geopolimer dengan kuat tekan dan kuat tarik belah terendah, tertinggi dan kontrol. Geopolimer dengan penambahan serat 0%, 1,5% dan 2,5% mengandung fasa amorf, terlihat dari adanya gundukan (*hump*) pada  $2\theta$  15-34°. Geopolimer dengan 0% serat didominasi oleh mineral ( $\text{SiO}_2$ ) *quartz* (Q) pada  $2\theta$  20,58; 26,25 dan 49,76° (PDF 06-0490). Mineral *mullite* ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  33,25; 42,64 dan 60,62° (PDF 06-0258). Mineral *magnetite* ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  35,46 dan 62,58° (PDF 03-0862).

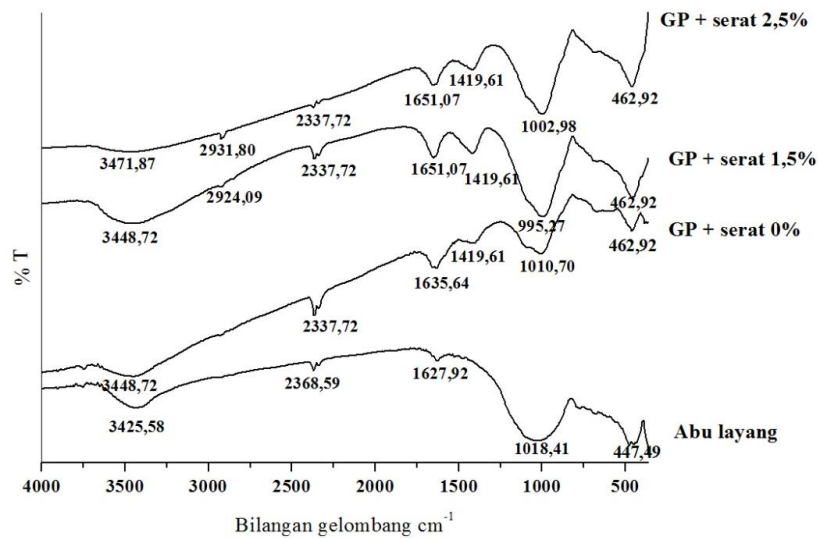
Geopolimer dengan penambahan serat 1,5% didominasi oleh mineral *quartz* ( $\text{SiO}_2$ ) yang ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  20,58; 26,33 dan 49,57° (PDF 05-0490). Mineral *mullite* ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  33,25; 42,62 dan 60,61° (PDF 06-0258). Kandungan mineral lainnya *magnetite* ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  35,42 dan 62,52° (PDF 03-0862). Geopolimer dengan penambahan serat 2,5% didominasi oleh mineral *quartz* ( $\text{SiO}_2$ ) yang ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  20,67; 26,41 dan 49,76° (PDF 05-0490). Mineral *mullite* ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  33,23; 42,61 dan 60,67° (PDF 06-0258). Kandungan mineral lainnya *magnetite* ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$  35,46 dan 62,58° (PDF 03-0862).

Analisis gugus fungsi geopolimer ditunjukkan pada Gambar 6. Serapan bilangan gelombang sampel geopolimer dengan penambahan serat 0; 1,5 dan 2,5% mempunyai kemiripan pola. Sampel serat 1,5% mempunyai intensitas serapan gelombang Si-O-Si pada  $995,27 \text{ cm}^{-1}$  lebih besar jika dibandingkan dengan serat 0% maupun serat 2,5%. Pita serapan pada bilangan gelombang 3471,87; 3448,72; 1635,64 dan  $1651,07 \text{ cm}^{-1}$  berturut-turut menunjukkan vibrasi ulur O-H dan vibrasi tekuk H-O-H (Panias, *et al.*; 2007). Pita serapan pada daerah  $1419,61 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur O-C-O dalam  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yang dihasilkan dari reaksi karbonasi larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan udara (Song; 2007).

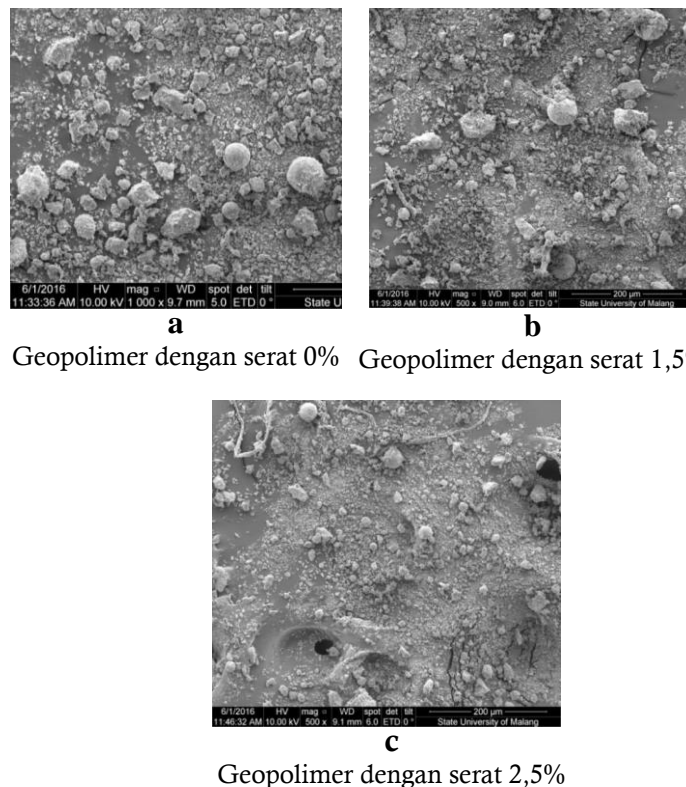
Terbentuknya geopolimer ditandai dengan adanya pita serapan yang terletak pada bilangan gelombang 1200-950  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al (Bakharev, 2005) dan pita serapan pada 470-460  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si (Panias, *et al.*; 2007). Perbedaan spektra FT-IR pada sampel uji geopolimer tanpa penambahan serat dan dengan penambahan serat terletak pada bilangan gelombang 2924,09 dan 2931,80  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus -CH dari selulosa.

Analisis morfologi geopolimer dilakukan menggunakan SEM bertujuan untuk mengamati terbentuknya matriks geopolimer, material yang tidak bereaksi, interaksi serat daun nanas dalam matriks geopolimer, dan pori yang terbentuk. Hasil analisis morfologi geopolimer ditunjukkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sampel dengan serat 0; 1,5 dan 2,5% masih tersusun atas material

yang tidak bereaksi. Material yang tidak bereaksi meliputi  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang berasal dari abu layang. Material yang tidak bereaksi ini sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah. Selain material yang tidak bereaksi, adanya pori juga mempengaruhi kuat tekan dan kuat tarik belah. Menurut Komnitsas & Zaharaki (2007) pori yang terdapat dalam geopolimer terjadi akibat adanya gelembung udara yang terjebak dalam pasta geopolimer pada proses pencetakan.



**Gambar 6.** Spektrum infra merah dari sintesis geopolimer



**Gambar 7.** Mikrograf SEM geopolimer dengan variasi penambahan serat, a. matriks geopolimer, b. abu layang yang tidak bereaksi, c. serat

Serat daun nenas muncul pada hasil SEM dengan 1,5% serat dan 2,5% karena masih terdapatnya serat yang tidak masuk dalam matriks geopolimer. Hal ini diakibatkan oleh serat yang cenderung masih

kurang halus. Sampel geopolimer dengan serat 1,5% mempunyai kuat tekan dan kuat tarik belah tinggi yaitu 41,91MPa dan 16,28 MPa, sedangkan kuat tekan dan kuat tarik belah pada geopolimer dengan serat 2,5% menurun menjadi 34,03 MPa dan 13,82 MPa. Hal ini diakibatkan oleh banyaknya serat yang tidak masuk ke dalam matriks geopolimer sehingga kekuatan geopolimer menurun. Serat yang tidak masuk dalam matriks geopolimer dapat membentuk ruang diantara matriks geopolimer, hal tersebut terbukti dengan terbentuknya pori pada sampel geopolimer dengan penambahan serat 2,5%.

### Simpulan

Rasio mol  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum pada 5,29 yang memiliki kuat tekan dan kuat tarik belah sebesar 34,35 dan 12,97 MPa. Persen serat optimum pada 1,5% (b/b) yang memiliki kuat tekan dan kuat tarik belah 41,91 dan 16,28 MPa. Sampel uji geopolimer dengan penambahan serat 1,5% (b/b) memiliki fasa amorf yang relatif besar, memiliki gugus -CH dalam spektrum FT-IR dan terdapat partikel serat di antara matriks geopolimer.

### Daftar Pustaka

- Adamiec, P., Benezet, J.C. & Benhassaine, A. 2008. Pozzolanic Reactivity of Silico-aluminous Fly Ash. *Particuology*, 6(1): 93-98
- Anwar, S. & Kusumastuti, E. 2016. Pemanfaatan Serat Pohon Pisang dalam Sintesis Geopolimer Abu Layang Batubara. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(1): 63-68
- ASTM C618. 1994. *Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standart. 4(2). United States: West Conshohocken
- ASTM C39M. 2014. *Standart Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*. United States: West Conshohocken
- Bakharev, T. 2005. Durability of Geopolymer Materials in Sodium and Magnesium Sulfate Solution. *Cement and Concrete Research*, 36(6): 1134-1147
- Duxson, P., S.W. Mallicoat, G.C. Lukey, W.M. Kriven & J.S.J. Van Deventer. 2007. The Effect of Alkali and Si/Al Ratio on the Development of Mechanical Properties of Metakaolin-Based Geopolymers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemistry Engineering Aspects*, 292(3): 8-20