



SINTESIS DAN KARAKTERISASI *FOAMY GEOPOLYMER* BERBAHAN DASAR ABU LAYANG BATUBARA

Moh. Syukur*) dan Ella Kusumastuti

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Agustus 2015
Disetujui September 2015
Dipublikasikan November 2015

Kata kunci:
foamy geopolymer
abu layang batubara
hidrogen peroksida

Abstrak

Sintesis dan karakterisasi *foamy geopolymer* berbahan dasar abu layang batubara telah dilakukan. Sintesis geopolimer dilakukan dengan variasi penambahan hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai *foaming agent*. Hidrogen peroksida yang digunakan bervariasi antara 0,5-3% b/b dengan interval 0,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah penambahan H_2O_2 yang optimum adalah 2%, dengan kuat tekan 21,2808 MPa, densitas 1800,8317 kg/m^3 , konduktivitas panas 0,061 $Watt/m^{\circ}K$, dan nilai kadar air sebesar 13,49%. Analisis fasa mineral dengan XRD menunjukkan bahwa geopolimer mengandung fasa *amorf* dengan kandungan mineral utama *quartz*. Analisis ikatan kimia dengan FT-IR menunjukkan bahwa geopolimer telah terbentuk, ditandai dengan adanya pita vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al pada 995,27 cm^{-1} dan pita vibrasi tekuk Si-O-Si atau Si-O-Al pada 445,20 cm^{-1} dan 447,49 cm^{-1} . Analisis morfologi partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan bahwa geopolimer yang terbentuk didominasi oleh geopolimer yang homogen dan berpori.

Abstract

Synthesis and characterization foamy geopolymer of fly ash-based. Synthesis of geopolymer performed with variation of hydrogen peroxide (H_2O_2) addition as afoaming agent. Hydrogen peroxide is used varies between 0.5-3% w/w with intervals of 0.5. The results showed that the amount of optimum H_2O_2 that added are 2%, with the compressive strength 21.2808 MPa, density of 1800.8317 kg/m^3 , thermal conductivity 0.061 $Watt/m^{\circ}K$ and a water content of 13.49%. Mineral phase analysis by XRD showed that geopolymer containing an amorphous phase with a major mineral are *quartz*. Chemical bonds analysis of geopolymer by FT-IR showed that geopolymer has been formed that indicated has been constituted with the presence of vibrational bands trade-off asymmetry Si-O-Si or Si-O-Al on 995.27 cm^{-1} and the tape vibration buckling Si-O-Si or Si-O-Al at 445.20 cm^{-1} and 447.49 cm^{-1} . Particle morphology analysis by SEM showed that geopolymer structure is dominated by homogeneous geopolymer matrix and pored.

Pendahuluan

Berbagai upaya dan inovasi untuk menciptakan material yang potensial sebagai pengganti semen semakin marak dikembangkan pada era ini, 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_2) yang dihasilkan dari produksi semen. Teknologi geopolimerisasi telah sangat berkembang, bahkan dengan memanfaatkan material yang berupa limbah di lingkungan yaitu dengan mengembangkan geopolimer berbasis dasar abu layang batubara.

Abu layang batubara (*fly ash*) adalah abu sisa pembakaran batubara yang dipakai dalam banyak industri. Selama ini abu layang batubara tidak dimanfaatkan dan dibuang begitu saja, sehingga memiliki potensi mencemari lingkungan dan abu layang juga sebagai limbah yang sangat melimpah keberadaannya.

Berlimpahnya cadangan abu layang sebagai sisa pembakaran batubara di beberapa PLTU di Indonesia juga merupakan suatu hal yang menarik untuk diteliti lebih lanjut, terutama tentang kelayakan penggunaan abu layang tersebut sebagai material dasar/mentah yang berfungsi sebagai pengikat yang dibutuhkan untuk pembuatan bahan bangunan.

Selama ini, geopolimer banyak dikembangkan sebagai material untuk peralatan keramik tahan panas (Komnitsas dan Zaharaki; 2007), material untuk imobilisasi logam berbahaya (Komnitsas, *et al.*; 2012), dan material komponen transportasi tahan api (Diharjo, *et al.*; 2012). Oleh karena itu, geopolimer berbasis dasar abu layang batubara menarik untuk diteliti lebih lanjut. Salah satunya adalah pemanfaatan abu layang batubara sebagai bahan dasar *foamy geopolymer*.

Foamy geopolymer mempunyai potensi sebagai bata ringan atau bata aerasi yang merupakan jenis bata yang dibuat dengan teknik tertentu sehingga memiliki kandungan pori dalam jumlah besar. Pori-pori yang merupakan karakteristik khas bata ringan itu sengaja dibentuk untuk membuat bata tersebut jauh lebih ringan dibandingkan dengan jenis bata konvensional pada umumnya. Geopolimer berbasis digunakan untuk berbagai aplikasi, mulai dari isolasi termal dan konstruksi bangunan yang tahan panas (Harjanto, *et al.*; 2007).

Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara cetakan silinder plastik, dan oven *Memmert, instrument* mesin pengujian tekan (*universal testing machine*), XRF (*X-Ray Fluorescence Bruker*), XRD (*X-Ray Diffraction Bruker 6000*), *Thermal Conductivity Analyzer*, piknometer, SEM (*Scanning Electron Microscopy JEOL JSM-6360LA*), dan FT-IR (*Fourier Transform Infrared Shimadzu 8201 PC*). Bahan-bahan yang diperlukan adalah abu layang batubara yang diambil dari PLTU Tanjung Jati B Jepara, natrium silikat teknis, natrium hidroksida, hidrogen peroksida dengan *grade pro analyst* buatan *Merck* dan aquades.

Sintesis geopolimer diawali dengan mengkarakterisasi kandungan kimia dan fasa mineral abu layang batubara. Setelah itu, sintesis geopolimer dilakukan dengan memvariasi penambahan H_2O_2 sesuai dengan rasio S/L optimum yang didapatkan. Sintesis geopolimer dilakukan dengan membuat larutan pengaktif, dengan cara melarutkan NaOH dalam aquades. Setelah itu, Na_2SiO_3 dilarutkan dalam larutan pengaktif, lalu dituangkan ke dalam abu batubara dan H_2O_2 , dan diaduk hingga homogen. Campuran dituang dalam cetakan silinder plastik (diameter : tinggi = 1:2) (Naidu, *et al.*; 2012), lalu divibrasi selama 2 menit (Duxson, *et al.*; 2007). Hasil pencetakan ini disebut dengan pelet. Pelet didiamkan pada suhu ruang minimal selama 1 jam (Chindaprasirt, *et al.*; 2007), lalu dipanaskan dalam oven pada temperatur 60°C selama 24 jam (Chindaprasirt, *et al.*; 2007).

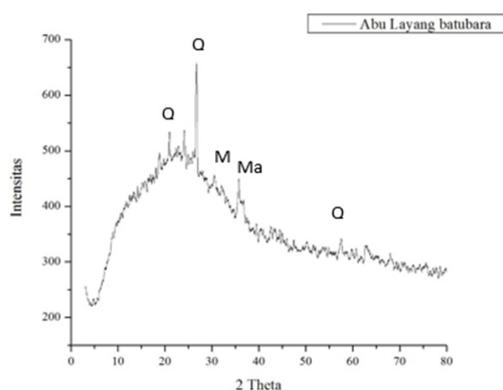
Hasil dan Pembahasan

Abu layang batubara yang diambil di PLTU Tanjung Jati B Jepara. Abu layang batubara yang telah diambil berwarna kecoklatan, dan lembab. Oleh karena itu, perlu dilakukan preparasi dan karakterisasi untuk mengetahui kandungan kimianya. Preparasi dilakukan dengan menjemur abu layang batubara selama 2 hari, lalu diayak dan dipanaskan dalam oven pada temperatur 105°C selama 24 jam.

Tabel 1. Kandungan kimia abu layang batubara menggunakan XRF

No.	Nama Senyawa	Jumlah (%)	No.	Nama Senyawa	Jumlah (%)
1.	SiO_2	44.94%	13.	SrO	0.09%
2.	Al_2O_3	19.10%	14.	BaO	0.09%
3.	Fe_2O_3	14.25%	15.	Nd_2O_3	0.06%
4.	CaO	6.64%	16.	ZrO_2	0.05%
5.	MgO	4.53%	17.	V_2O_5	0.04%
6.	Na_2O	4.14%	18.	ZnO	0.03%
7.	K_2O	2.38%	19.	CoO	0.03%
8.	SO_3	1.33%	20.	Rb_2O	0.02%
9.	TiO_2	1.11%	21.	SnO_2	0.02%
10.	P_2O_5	0.69%	22.	NiO	0.02%
11.	Cl	0.26%	23.	CuO	0.01%
12.	MnO	0.13%			

Kandungan kimia abu layang batubara menggunakan XRF (Tabel 1.) menyatakan bahwa abu layang batubara memiliki kandungan yang heterogen dengan komponen utama meliputi 44,94% SiO₂; 19,10% Al₂O₃; 6,64% CaO; dan 14,25% Fe₂O₃. Kandungan fasa mineral abu layang batubara menggunakan XRD (Gambar 1.) menyatakan bahwa abu layang batubara mempunyai fasa *amorf*, yang ditandai dengan adanya gundukan pada 2θ antara 20°-30°. Abu layang didominasi oleh mineral (Q) *quartz* (SiO₂) yang ditunjukkan oleh puncak pada 2θ 26,6680°; 36,6600°; dan 39,4750° (JCPDS no. 05-0409).



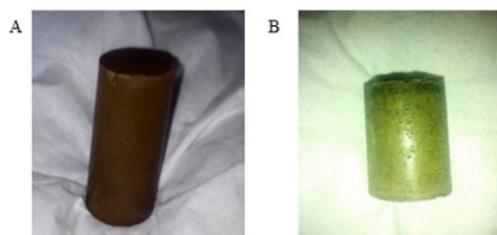
Gambar 1. Difraktogram abu vulkanik dengan Q = *quartz* (SiO₂) M = *mullite* (3Al₂O₃.2SiO₂), Ma = *magnetite* (FeFe₂O₄)

Rasio S/L optimum yang telah diperoleh pada penelitian pendahuluan sintesis geopolimer, yaitu 1,5, dari hasil pengujian kuat tekan geopolimer dengan rasio S/L. Kuat tekan meningkat dengan meningkatnya rasio S/L, akan tetapi kuat tekan menurun pada geopolimer dengan Rasio S/L = 1,5. Rasio S/L yang semakin tinggi mempunyai komposisi *solid* yang lebih sedikit dalam pelarutannya. Komposisi *liquid* yang semakin sedikit dalam campuran akan meninggalkan pori yang semakin sedikit pula setelah proses kondensasi. Pori yang semakin sedikit akan menghasilkan kuat tekan geopolimer yang semakin besar (Nikolic, *et al.*; 2013). Akan tetapi, Rasio S/L yang terlalu besar dapat menyebabkan kesulitan dalam pencetakan geopolimer karena *liquid* yang tersedia tidak cukup mampu untuk melarutkan *solid*. Hal ini dapat menyebabkan sejumlah reaktan yang tidak bereaksi, sehingga kuat tekannya relatif lebih kecil.

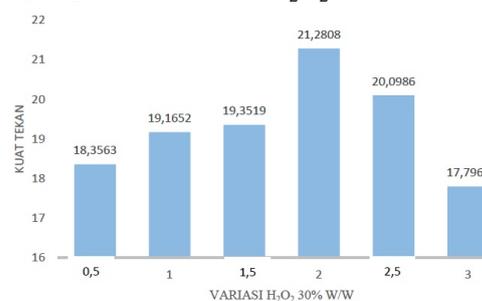
Geopolimer dengan rasio S/L optimum merupakan geopolimer dengan kuat tekan tertinggi. Oleh karena itu, geopolimer dengan rasio S/L = 1,5 merupakan geopolimer dengan rasio S/L optimum. Rasio S/L optimum ini

dijadikan sebagai acuan rasio S/L dalam sintesis geopolimer dengan variasi penambahan *foaming agent* hidrogen peroksida (H₂O₂). Hasil sintesis *foamy geopolimer* dengan variasi penambahan hidrogen peroksida.

Gambar 2. merupakan hasil sintesis *foamy geopolimer* dengan penambahan hidrogen peroksida sebesar 0% dan 2% b/b. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa geopolimer tanpa penambahan H₂O₂ terlihat lebih homogen dan padat. Bila dibandingkan geopolimer dengan penambahan 2% H₂O₂ nampak lebih terlihat berpori secara kasat mata. Pori-pori ini tampak pada permukaan *foamy geopolimer*. Pada penambahan H₂O₂, secara fisik terlihat pori yang semakin banyak dengan bertambahnya H₂O₂ yang digunakan. Pori-pori ini terbentuk dari hasil peruraian H₂O₂ menjadi H₂O dan O₂. Pada proses pencetakan O₂ akan terjebak dalam matriks geopolimer sehingga menimbulkan adanya pori-pori.



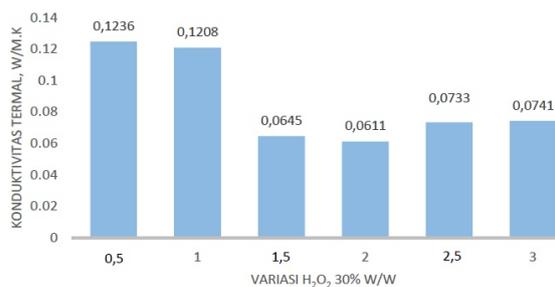
Gambar 2. Hasil sintesis *foamy geopolimer* dengan (A) sintesis *foamy geopolimer* tanpa penambahan H₂O₂ (B) sintesis *foamy geopolimer* dengan penambahan 2% H₂O₂ 30% b/b



Gambar 3. Diagram kuat tekan *foamy geopolimer* dengan variasi H₂O₂ 30% b/b

Gambar 3. merupakan hasil pengujian kuat tekan *foamy geopolimer* dengan variasi penambahan H₂O₂. Setelah ditambahkan 0,5% H₂O₂ diperoleh kuat tekan sebesar 18,3536 MPa, kemudian nilai kuat tekan terus mengalami kenaikan hingga penambahan 2% H₂O₂ sebesar 21,2808 MPa yang merupakan nilai kuat tekan tertinggi. Hal itu dikarenakan adanya reaksi antara H₂O₂ dengan CaO menjadi Ca(OH)₂ dalam suasana basa yang membuat nilai kuat tekannya semakin besar seiring

dengan penambahan *foaming agent* hidrogen peroksida. Kemudian mengalami penurunan pada penambahan 2,5 dan 3% H₂O₂ sebesar 20,0986 MPa dan 17,7962 MPa. Hal itu dikarenakan CaO yang bereaksi dengan hidrogen peroksida telah habis bereaksi yang menyebabkan kuat tekannya menurun seiring dengan semakin banyaknya penambahan hidrogen peroksida. Reaksi antara H₂O₂ dan CaO yang terjadi adalah sebagai berikut.



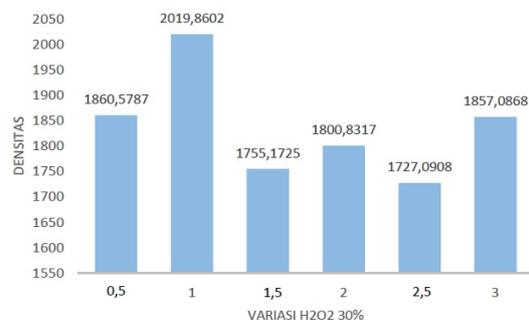
Gambar 4. Diagram konduktivitas panas *foamy geopolymer* dengan variasi H₂O₂ 30% b/b

Gambar 4. merupakan hasil pengukuran konduktivitas panas *foamy geopolymer* dengan penambahan H₂O₂. Setelah ditambahkan 0,5% H₂O₂ konduktivitas panasnya mengalami kenaikan sebesar 0,124 Watt/m²K, kemudian konduktivitas panas terus mengalami penurunan hingga penambahan 2,0% H₂O₂ sebesar 0,061 Watt/m²K. Kemudian mengalami kenaikan pada penambahan 2,5 dan 3,0% H₂O₂ sebesar 0,073 dan 0,074 Watt/m²K. Besarnya nilai konduktivitas panas berbanding lurus dengan nilai densitas dan kuat tekan. Rendahnya nilai konduktivitas panas disebabkan karena terhalangnya penghantaran panas dengan adanya pori-pori yang terbentuk akibat penambahan *foaming agent*.

Menurut beberapa ilmuwan mengenai konduktivitas termal pada isolasi termal geopolymer berbuis menunjukkan adanya hubungan antara gas (gelembung udara) yang diikuti kepadatan busa dengan morfologi struktur selularnya (Weber, *et al.*; 2005). Material yang baik untuk insulator panas adalah material yang mempunyai nilai konduktivitas panas yang rendah. Untuk memenuhi syarat dalam aplikasi bata ringan sekaligus sebagai insulator panas, maka material harus mempunyai nilai konduktivitas panas yang rendah, densitas yang rendah, namun tetap mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Hal itu dapat dilihat dari rasio nilai kuat tekan/konduktivitas panas yang dihitung pada Tabel 2.

Tabel 2. Rasio kuat tekan/konduktivitas panas

No	Penambahan H ₂ O ₂ 30% dalam persen berat total bahan	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Konduktivitas Panas (Watt/m ² K)	Rasio Kuat Tekan/ Konduktivitas Panas
1	0,5	18,3563	0,124	142,3218
2	1,0	19,1652	0,120	158,6523
3	1,5	19,3519	0,064	299,5650
4	2,0	21,2808	0,061	348,2946
5	2,5	20,0986	0,073	274,1965
6	3,0	17,7962	0,074	239,8410



Gambar 5. Diagram densitas *foamy geopolymer* dengan variasi H₂O₂ 30% b/b

Gambar 5. merupakan hasil pengukuran densitas *foamy geopolymer* dengan penambahan H₂O₂. Setelah ditambahkan 0,5% H₂O₂ didapatkan harga densitas sebesar 1860,5787 kg/m³. Kemudian densitas mengalami kenaikan pada penambahan 1,0% H₂O₂ sebesar 2019,8602 kg/m³, 1,5% H₂O₂ sebesar 1755,1724 kg/m³. Kemudian densitas kembali mengalami kenaikan pada penambahan 2,0% H₂O₂ yang memiliki kuat tekan tertinggi diperoleh densitas air sebesar 1800,8317 kg/m³. Secara teoritis, harga densitas *foamy geopolymer* berbanding dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Hal ini berhubungan erat dengan pori yang dihasilkan dari penambahan *foaming agent* H₂O₂ yang akan terdekomposisi menjadi H₂O dan O₂. Molekul O₂ yang dihasilkan ini yang membuat adanya pori dalam matriks *foamy geopolymer*. Dalam aplikasi bata ringan penambahan *foaming agent* diharapkan mampu memberikan nilai densitas yang rendah namun mempunyai kekuatan yang optimal, sehingga untuk membandingkan nilai kuat tekan dengan densitas menggunakan persamaan matematis dengan membandingkan kuat tekan dengan densitasnya seperti Tabel 3.

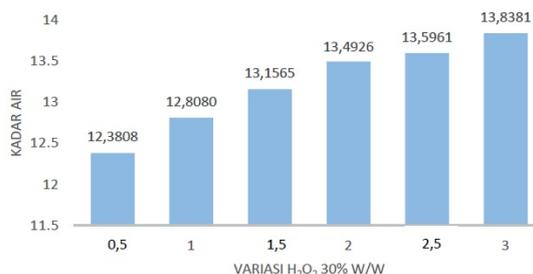
Tabel 3. Rasio kuat tekan/densitas

No	Penambahan H ₂ O ₂ 30% dalam persen berat total bahan	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Nilai Densitas (Kg/m ³)	Rasio Kuat Tekan/Densitas
1	0,5	18,3563	1860,5787	0,0099
2	1,0	19,1652	2019,8602	0,0095
3	1,5	19,3519	17,551725	0,0110
4	2,0	21,2808	1800,8317	0,0118
5	2,5	20,0986	1727,0908	0,0116
6	3,0	17,7962	1857,0868	0,0096

Tabel 3. menunjukkan bahwa hasil rasio kuat tekan/densitas yang tertinggi diperoleh pada penambahan 2% *foaming agent* H₂O₂

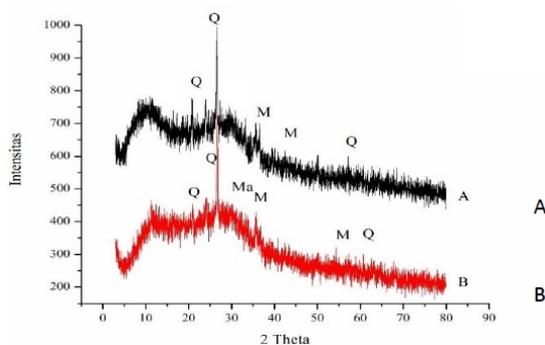
sebesar 0,0118. Hal itu menunjukkan bahwa pada komposisi penambahan *foaming agent* H_2O_2 , *foamy geopolymer* mendapatkan nilai densitas yang optimum sebesar 1800,8317 kg/m^3 dengan kuat tekan tertinggi 21,2808 MPa.

Gambar 6. merupakan hasil pengukuran kadar air *foamy geopolymer* dengan penambahan H_2O_2 . Setelah ditambahkan 0,5% H_2O_2 nilai kadar airnya mengalami kenaikan sebesar 12,38%, kemudian kadar airnya terus mengalami kenaikan hingga penambahan 3% H_2O_2 sebesar 13,84%.



Gambar 6. Diagram kadar air *foamy geopolymer* dengan variasi H_2O_2 30% b/b

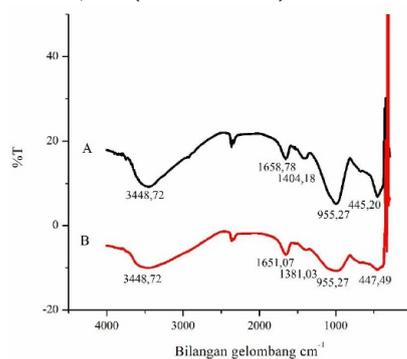
Kenaikan kadar air *foamy geopolymer* meningkat seiring dengan penambahan jumlah hidrogen peroksida dalam campuran. Semakin banyak hidrogen peroksida yang ditambahkan maka yang akan terdekomposisi menjadi H_2O dan O_2 juga semakin meningkat, sehingga menyebabkan kenaikan kadar air *foamy geopolymer*.



Gambar 7 Difraktogram geopolimer dengan (A) sintesis *foamy geopolymer* tanpa penambahan H_2O_2 (B) sintesis *foamy geopolymer* dengan penambahan 2% H_2O_2 30% b/b, dengan Q = quartz (SiO_2), M = *mullite* ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), Ma = *magnetite* ($FeFe_2O_4$)

Gambar 7. merupakan difraktogram geopolimer dengan kuat tekan tertinggi, yaitu geopolimer dengan penambahan 0% H_2O_2 30% dan 2% H_2O_2 30% b/b. Geopolimer dengan penambahan 0% H_2O_2 30% dan 2% H_2O_2 30% b/b mengandung fasa *amorf* yang ditandai dengan adanya gundukan (*hump*) pada 2θ sekitar 25° - 45° . Geopolimer dengan penambahan 0% H_2O_2 30% didominasi oleh mineral (Q) *quartz* (SiO_2) yang ditunjukkan oleh puncak

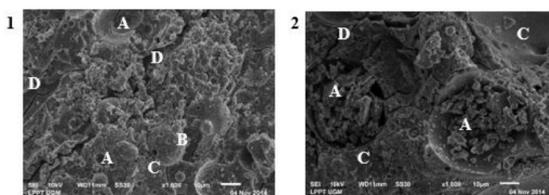
pada 2θ $20,74^\circ$, $26,56^\circ$ dan $50,04^\circ$ (PDF 05-0490). Kandungan mineral lainnya (M) *mullite* ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) ditunjukkan oleh puncak pada $2035,66^\circ$ $40,90^\circ$, $64,18^\circ$ dan $70,46^\circ$ (PDF 06-0258). Sedangkan pada penambahan 2% H_2O_2 30% didominasi oleh mineral (Q) *quartz* (SiO_2) yang ditunjukkan oleh puncak pada 2θ $20,78^\circ$, $26,64^\circ$ dan $57,20^\circ$ (PDF 05-0490). Mineral (M) *mullite* ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) ditunjukkan oleh puncak pada 2θ $16,64^\circ$, $35,62^\circ$ dan $53,69^\circ$ (PDF 06-0258). Kandungan mineral lainnya (Ma) *magnetite* ($FeFe_2O_4$) yang ditunjukkan oleh puncak pada 2θ $60,08^\circ$ (PDF 03-0662).



Gambar 8 Spektrum infra merah (A) sintesis *foamy geopolymer* tanpa penambahan H_2O_2 (B) sintesis *foamy geopolymer* dengan penambahan 2% H_2O_2 30% b/b

Gambar 8. merupakan spektra IR geopolimer dengan penambahan hidrogen peroksida (H_2O_2 30%) sebesar 0% dan 2% b/b. Pita serapan pada bilangan gelombang $3448,72\text{ cm}^{-1}$, $3448,72\text{ cm}^{-1}$, dan $1658,78\text{ cm}^{-1}$, $1651,07\text{ cm}^{-1}$ berturut-turut menunjukkan vibrasi ulur O-H dan vibrasi tekuk H-O-H (Panias & Giannopoulou; 2006). Pita serapan pada daerah $1404,18\text{ cm}^{-1}$ dan $1381,03\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur O-C-O dalam Na_2CO_3 yang dihasilkan dari reaksi karbonasi larutan natrium hidroksida dengan udara (Kusumastuti; 2009). Terbentuknya geopolimer dapat ditandai dengan adanya pita serapan pada $995,27\text{ cm}^{-1}$ dan $995,27\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al (Bakharev; 2005) dan pita serapan pada $455,20\text{ cm}^{-1}$ dan $447,49\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si atau Si-O-Al (Panias, *et al.*; 2007).

Gambar 9. merupakan mikrograf SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (perbesaran 1000x) dari geopolimer tanpa penambahan hidrogen peroksida menunjukkan bahwa geopolimer didominasi oleh matriks geopolimer yang homogen dan padat, sedangkan pada penambahan 2% H_2O_2 30% b/b didominasi oleh geopolimer yang homogen dan berpori.



Gambar 9. Mikrograf SEM (perbesaran 1000x) 1) geopolimer dengan penambahan 0% H₂O₂ 30% b/b, 2) geopolimer dengan penambahan 2% H₂O₂ 30% b/b, dengan A = pori, B = material yang tidak bereaksi, C = matriks geopolimer, dan D = retakan

Bila dibandingkan dengan material yang lain, *foamy geopolimer* yang dihasilkan dalam penelitian ini cukup potensial sebagai material konstruksi yang bersifat isolator panas dengan kuat tekan yang cukup tinggi. Referensi material lain ditampilkan seperti pada Tabel 4. *Extruded Polystyrene* (XPS) yang merupakan salah satu material yang bersifat isolator panas dengan karakteristik konduktivitas panas sangat rendah sebesar 0,025-0,035 Watt/m²K, dan mempunyai nilai densitas yang rendah sebesar 80 kg/m³, namun kekuatannya kecil sebesar 700 kPa. (Vaou dan Panias; 2010). Bila dibandingkan dengan *Sanded Lightweight Concrete* (SLC) yang merupakan jenis beton ringan dengan agregat halus pasir alam, konduktivitas panas antara 0,07-0,11 W/m²K, dengan densitas 1400-2000 kg/m³ dan kuat tekan sebesar 1,8-8,5 MPa. Begitu juga dibandingkan dengan hasil sintesis beton ringan lain dengan kekuatan sedang, serta nilai konduktivitas panas sebesar 0,13-0,21 Watt/m²K, dengan densitas 800-1440 kg/m³ dan kuat tekan 6,89-17,24 Mpa. Pada penelitian ini *foamy geopolimer* yang optimum terjadi pada penambahan *foaming agent* 2% H₂O₂ dengan hasil konduktivitas panas sebesar 0,0611 Watt/m²K, densitas 1800,8317 kg/m³ dan kuat tekan sebesar 21,808 MPa. Seperti pada Tabel 4 maka material ini potensial sebagai beton ringan dengan kekuatan sedang.

Tabel 4. Referensi bahan konstruksi Insulating material

Material Sifat	<i>Extruded Polystyrene</i> (XPS) ^a	<i>Sanded Lightweight Concrete</i> (SLC)	Beton ringan dengan kekuatan sedang ^c
Kuat tekan	700 kPa	1,8-8,5 MPa	6,89-17,24 MPa
Densitas	80 kg/m ³	1400-2000 kg/m ³	800-1440 kg/m ³
Konduktivitas panas	0,025-0,035 W/m ² K	0,07-0,11 W/m ² K	0,13-0,21 W/m ² K

Sumber : ^aVaou dan Panias, 2010; ^bAbdullah, 2008; ^cHarjanto, et al., 2007

Simpulan

Jumlah hidrogen peroksida (30%) optimum yang ditambahkan untuk mendapatkan *foamy geopolimer* terbaik adalah 2 % b/b. Secara umum, semakin banyak hidrogen peroksida yang ditambahkan nilai densitas akan semakin turun, nilai konduktivitas panas turun dan nilai

kadar airnya akan semakin tinggi. Analisis fasa mineral dengan XRD menunjukkan bahwa *foamy geopolimer* mengandung fasa *amorf* dengan kandungan mineral utama *quartz*. Analisis ikatan kimia *foamy geopolimer* dengan FT-IR menunjukkan telah terbentuk rantai geopolimer yang ditandai dengan adanya vibrasi ulur asimetri dan vibrasi tekuk Si-O-Si atau Si-O-Al. Analisis morfologi partikel menggunakan SEM menunjukkan bahwa geopolimer yang terbentuk didominasi oleh geopolimer yang homogen dan berpori.

Daftar Pustaka

- Chindapasirt, P., Chareerat, T. dan Sirivivatnanon, V. 2007. Workability and Strength of Coarse High Calcium Fly Ash Geopolymer. *Cement and Concrete Composites*, 29: 224-229
- Davidovits, J. 1994. Geopolimers: Man-Made Rock Geosynthesis and the Resulting Development of Very Early High Strength Cement. *Journal of Materials Education*, 16 (2&3): 91-139
- Diharjo, K., A. Purwanto, S.J.A. Nasir, B.H. Jihad, Y.C.N. Saputro, K. Priyanto, A.R. Andika, R.A.P. Tarigan, S. Adiputro, & I. Elharomy. 2012. Sifat Tahan Api dan Kekuatan Bending Komposit Geopolimer: Analisis Pemilihan Jenis Partikel Geomaterial. *Prosiding InSINas 2012*, 67- 72
- 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: Physicochem. Eng. Aspects*, 292: 8-20
- Fansuri, H., Swastika, N., dan Atmaja, L. 2008. Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton. *Journal of Akta Kimindo*, 3(2): 61-66
- Harjanto, S., Sony P., Suharno, B. dan Ashadi, H.W. 2008. Struktur mikro dan Sifat Fisik-Mekanik Beton Ringan Tanpa Pematangan dalam Autoclave (Non Autoclaved Aerated Concrete, NAAC). *Indonesian Journal of Materials Science*, 9(2): 139-144
- Komnitas, K. dan Zaharaki, D. 2007. Geopolimerisation: A Review Prospects for the Minerals Industry. *Mineral Engineering*, 20: 1261-1277
- Komnitas, K., D. Zaharaki, & G. Bartzas. 2012. Effect of Sulphate and Nitrate Anions On Heavy Metal Immobilisation In Ferronickel Slag Geopolymers. *Applied Clay Science*, 1-7
- Kusumastuti, E. 2009. *Geopolimer Abu Layang Batubara: Studi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ Dan Sifat-Sifat Geopolimer Yang Dihasilkan*. Tesis, Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

- Naidu, G., A.S.S.N. Prasad, S. Adishesu, & P.V.V. Satayanarayana. 2012. A study on Strength Properties of Geopolymer Concrete with Addition of G.G.B.S. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2(4): 19–28
- Nicholson, A., dan Fletcher, R. 2005. Building Innovation Trough Geopolymer Technology. *Industrial Research*, 29: 10-12
- Nikolic, I., D. Durovic, R. Zejak, L. Karanovic, M. Tadic, D. Blecic, & V. R. Radmilovic. 2013. Compressive Strength And Hydrolytic Stability of Fly Ash-Based Geopolymers. *J. Serb. Chem. Soc.*, 7 (6): 851-863
- Weber, H., De Grave, I., & Rohl, E. 2005. *Foamed Plastics, Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA. Weinheim