

# SINTESIS GEOPOLIMER BERBUSA BERBAHAN DASAR ABU LAYANG BATUBARA DENGAN HIDROGEN PEROKSIDA SEBAGAI *FOAMING AGENT*

---

Ella Kusumastuti, Nuni Widiarti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Email : ella.kusuma@gmail.com

Abstrak. Konsumsi energi yang tinggi di bidang rumah tangga dan industri menuntut adanya inovasi untuk menciptakan bahan bangunan yang mampu memerangi perubahan iklim, yakni menciptakan material bersifat *bioclimatic* dan isolator panas. Geopolimer memiliki prospek yang baik bila dikembangkan untuk tujuan tersebut. Hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) digunakan sebagai *foaming agent* karena ketidakstabilan termodinamikanya sehingga mudah terurai menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$  dan menciptakan pori pada geopolimer sehingga menurunkan densitasnya. Metode yang digunakan dalam sintesis geopolimer berbusa adalah dengan menggunakan abu layang sebagai sumber silika alumina yang diaktifkan dengan larutan pengaktif NaOH dan Na Silikat. Karakterisasi geopolimer berbusa dilakukan secara fisik dan kimia. Karakterisasi sifat fisik antara lain penentuan kuat tekan dengan *Universal Testing Machine*, pengukuran densitas sesuai dengan ASTM D854-06, konduktivitas termal menggunakan *Thermal Conductivity Analyser*, serta morfologi pori menggunakan SEM. Karakterisasi struktur kimiawi dilakukan dengan analisis fasa mineral dengan XRD dan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR. Penambahan  $H_2O_2$  sebagai *foaming agent* berpengaruh terhadap sifat fisika dan struktur kimiawi geopolimer berbusa yang dihasilkan. Penambahan  $H_2O_2$  secara umum menurunkan kekuatan geopolimer dengan adanya pori yang terbentuk dari hasil peruraian  $H_2O_2$  menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$ . Oleh karena itu penambahan  $H_2O_2$  juga akan menurunkan densitas dan konduktivitas termalnya. Secara kimiawi, sifat material yang dapat diamati dari analisis dengan menggunakan FTIR, XRD dan SEM. Hasil analisis gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan bahwa penambahan  $H_2O_2$  tidak menimbulkan gugus fungsi baru dalam geopolimer, ditandai dengan adanya pita yang menunjukkan ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al tidak berubah secara signifikan. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa material hasil sintesis berfasa amorf. Penambahan  $H_2O_2$  menyebabkan bertambahnya fasa kristal mineral sisa reaktan karena sebagian  $H_2O_2$  bereaksi dengan basa. Hasil analisis dengan SEM membuktikan bahwa penambahan  $H_2O_2$  memperbesar jumlah dan ukuran pori sampai dengan lebih dari  $100\mu m$ . Jumlah optimum  $H_2O_2$  yang ditambahkan untuk menghasilkan geopolimer berbusa dengan sifat kuat, densitas rendah dan isolator panas adalah pada penambahan  $H_2O_2$  30% sebanyak 2,0% (b/b) dengan hasil kuat tekan 21,2808 MPa, densitas 1800,8317  $kg/m^3$  dan konduktivitas panas 0,0611 Watt/ $m^{\circ}K$ . Material ini potensial sebagai beton ringan dengan kekuatan sedang.

Kata kunci: abu layang batubara, *foaming agent* hidrogen peroksida, geopolimer berbusa

## PENDAHULUAN

Dewasa ini konsumsi energi di dunia semakin meningkat. Konsumsi energi di bidang rumah tangga dan industri mendorong emisi gas berbahaya yang berdampak pada pemanasan global dan perubahan iklim. Kondisi inilah yang kemudian menuntut adanya inovasi untuk menciptakan bahan bangunan yang mampu memerangi pemanasan global dan perubahan iklim, yakni menciptakan material bersifat ringan, *bioclimatic* dan isolator panas.

Ada dua kategori material konstruksi yang bersifat isolator panas dan ringan yang sudah dikembangkan, yakni material organik dan anorganik. Material organik dapat berupa polistirena berbusa antara lain *Extruded Polystyrene* (XPS) dan *Expanded Polystyrene* (EPS), sedangkan material anorganik dapat berupa *glass wool* berserat dan *stone wool* yang termasuk dalam mineral. Kedua kategori material ini masing-masing mempunyai kelemahan.

Material organik seperti polistirena berbusa sangat mudah terbakar dengan hasil pembakarannya berupa *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAHs) dapat berdampak buruk bagi kesehatan (Karamanos dkk., 2005). *Blowing agent* yang digunakan untuk mensistesis EPS adalah pentana yang sangat mudah terbakar, baik dalam pembuatan maupun penyimpanannya. Karbon dioksida atau *hydrochlorofluorocarbons* (HCFC) yang digunakan dalam produksi XPS sebagai *propellant gas* propelan juga memiliki jelas memiliki efek negatif pada yakni pada penipisan ozon dan pemanasan global.

Material anorganik seperti sejenis *glass wool* lebih murah bila dibandingkan dengan material organik dan tidak mudah terbakar, namun ada 2 kelemahan utama yakni 1) konduktivitas termal tinggi, 2) memiliki potensi merusak kesehatan manusia (dapat mengiritasi kulit, mata dan sistem pernapasan, bahkan bersifat karsinogenik).

Teknologi geopolimerisasi menawarkan solusi baru untuk mengatasi kelemahan-kelemahan material organik dan anorganik tersebut (Vaou dan Panias, 2010). Geopolimerisasi merupakan teknologi yang ramah lingkungan, dilakukan pada suhu ruang dengan memanfaatkan bahan dasar berupa material limbah aluminosilikat, dan tergolong murah. Geopolimerisasi dapat mentransformasi padatan *raw material* mengandung silikat dan aluminosilikat menjadi produk-produk baru. Produk dari teknologi geopolimerisasi adalah geopolimer.

Geopolimer merupakan suatu material berupa polimer anorganik aluminosilikat dengan rantai Si-O-Al yang disintesis dari material *pozzolan* yang kaya akan silika dan alumina dengan larutan pengaktif natrium hidroksida dan bahan pengikat Na silikat (Davidovits, 1991). Geopolimer yang dikembangkan Davidovits memiliki rumus umum  $nM_2O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$  dengan M adalah logam alkali. Geopolimer telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang antara lain sebagai bahan bangunan, komposit dan refraktori, insulator dan untuk penanganan limbah beracun. Pada awal perkembangannya, geopolimer disintesis dari material-material seperti kaolinit, lempung, metakaolinit dan mineral-mineral aluminosilikat murni sebagai *prekursor* (Xu dan Van Deventer, 2000), kemudian dikembangkan geopolimer dengan bahan dasar limbah industri seperti abu layang yang bersifat *pozzolanik*. Abu layang sebagai limbah pembakaran

batubara merupakan padatan *pozzolan* aluminosilikat amorf yang kaya akan silika dan alumina sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam teknologi geopolimerisasi.

Dari beberapa hal yang sudah diuraikan tersebut, diperlukan inovasi material yang dapat mengatasi kelemahan-kelemahan material isolator termal baik organik maupun organik yakni melalui teknologi geopolimerisasi. Dalam penelitian yang dilakukan, digunakan bahan dasar berupa abu layang batubara yang diaktifkan dengan larutan NaOH dan Na Silikat dengan hidrogen peroksida sebagai *blowing/foaming agent*. Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) memiliki ketidakstabilan secara termodinamika sehingga mudah terurai menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$  dan menciptakan pori pada geopolimer sehingga menurunkan densitas geopolimer. Kelebihan hidrogen peroksida adalah tidak mencemari lingkungan karena yang tersisa hanyalah air dan oksigen. Geopolimer berbusa yang disintesis diharapkan memiliki sifat kuat, pori permukaan yang luas, isolator panas dan mempunyai densitas yang rendah sehingga potensial untuk menggantikan beton ringan yang aman dan ramah lingkungan.

Dari latar belakang tersebut, dapat dirumuskan permasalahan :Bagaimanakah hubungan antara jumlah  $H_2O_2$  sebagai *blowing agent* yang ditambahkan terhadap sifat fisika dan struktur kimiawi geopolimer berbusa yang dihasilkan? Berapakah jumlah optimum  $H_2O_2$  yang ditambahkan untuk menghasilkan geopolimer berbusa dengan sifat kuat, densitas rendah dan isolator panas?

## METODE

Peralatan sederhana yang digunakan dalam penelitian ini adalah cetakan silinder plastik, pengaduk (*mixer*), oven, neraca analitik, peralatan plastik (beaker *polipropilen*, gelas dan wadah plastik serta pengaduk plastik), alat-alat gelas (gelas kimia, gelas ukur, dll), piknometer, serta saringan/ayakan 100 mesh.

Peralatan untuk karakterisasi antara lain Mesin Penguji Kuat Tekan (*Universal Testing Machine*), Piknometer, *Thermal Conductivity Analyser*, XRF (*X-Ray Fluorescence*), alat XRD (*X-Ray Diffraction*), *Precise FTIR (Fourier Transform Infrared)* dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

Bahan yang digunakan antara lain sampel abu layang PLTU Tanjung Jati Jepara, natrium hidroksida pelet (NaOH 99%), binder / plasticizer berupa larutan Na silikat ( $Na_2SiO_3$ ) teknis, aquades ( $H_2O$ ) dan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) 30% sebagai *blowing agent*.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi penambahan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) 30% sebagai *foaming agent* pada S/L=1,5. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kuat tekan, nilai densitas, nilai konduktivitas termal. Sedangkan variabel kontrol adalah semua parameter yang dibuat tetap, yakni jumlah dan konsentrasi larutan pengaktif, suhu reaksi, suhu curing, dan kecepatan pengadukan.

Sintesis geopolimer dilakukan dengan cara mencampurkan abu layang dengan larutan pengaktif dan Na Silikat. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan tangan selama 2 menit

kemudian dengan *mixer* selama 5 menit sampai benar-benar homogen. Campuran ini dituang dalam cetakan silinder plastik dengan diameter 1,5 cm dan tinggi 3 cm (perbandingan diameter dan tinggi silinder 1: 2). Penuangan dilakukan secara bertahap dan divibrasi selama 15 menit agar lebih padat dan untuk mengurangi gelembung udara. Hasil pencetakan ini disebut pelet atau benda uji. Pelet didiamkan pada suhu ruang selama minimal 1 jam sampai dapat dilepaskan dari cetakannya. Pelet yang sudah dilepaskan dari cetakan ditata ke dalam loyang dan ditutup dengan plastik untuk mencegah penguapan air secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan pelet atau benda uji menjadi retak-retak. Kondisi curing dilakukan pada suhu 65°C selama 24 jam dan pelet disimpan pada suhu kamar selama 28 dan siap diuji kuat tekannya.

Sintesis geopolimer berbuisa dilakukan pada S/L optimum. Penambahan *blowing agent* H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% dilakukan pada saat terbentuk pasta antara abu layang dan larutan pengaktif. Variasi penambahan pasta adalah 0,5-3,0% w/w dari jumlah keeseluruhan berat bahan awal yang digunakan. Penambahannya dilakukan dengan pengadukan secara konstan selama 2 menit, kemudian pasta dalam cetakan dibiarkan pada suhu 35°C selama 2 jam. Selama kondisi tersebut, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> akan terdekomposisi secara cepat menghasilkan oksigen yang mengembang dan menciptakan busa di dalam pasta geopolimer. Kondisi curing dilakukan pada suhu 65°C selama 24 jam. Setelah itu, pasta geopolimer dilepaskan dari cetakannya dan disimpan pada suhu kamar selama 28 hari untuk diuji kuat tekan, densitas, konduktivitas termal, XRD, FTIR dan SEM. Khusus untuk pengujian konduktivitas termal, geopolimer berbuisa dicetak dengan bentuk silinder ukuran diameter 110 mm dan ketebalan 10 mm.

Karakterisasi hasil penelitian berupa geopolimer berbuisa antara lain pengujian kuat tekan silinder geopolimer dengan menggunakan mesin penguji kuat tekan (*Universal Testing Machine*), uji densitas sesuai dengan standar ASTM D854-06 menggunakan alat piknometer air, pengukuran konduktivitas termal dengan menggunakan *Thermal Conductivity Analyser*; analisis fasa mineral dengan *X-Ray Diffractometer* (XRD), analisis ikatan kimia dengan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), serta analisis morfologi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk JEOL JSM-6360LA.

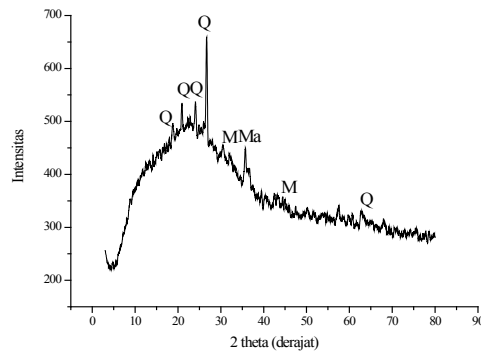
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis fasa mineral dengan XRD pada abu layang PLTU Tanjung Jati Jepara menyatakan bahwa abu layang ini sebagian besar mengandung fasa amorf aluminosilikat dengan kandungan utama mineral *Quartz* dan *Mullite*. Gambar 1 merupakan difraktogram abu layang PLTU Tanjung Jati Jepara. Mineral utama (Q) *Quartz* (SiO<sub>2</sub>) ditunjukkan oleh puncak difraksi tajam pada 2θ=20,94°; 26,64°; 50,38°; 54,95° dan 60,02° (PDF 03-0420), sedangkan (M) *Mullite* (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>) pada 2θ=33,31° dan 42,94° (PDF 06-0258) serta (Ma) *Magnetite* (FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) pada 2θ=35,95° dan 62,25° (PDF 19-0629). Puncak-puncak tajam ini menunjukkan fasa kristalin yang tidak reaktif, sedangkan fasa amorf ditunjukkan dengan adanya *hump* atau gundukan yang lebar pada 2θ antara 10° sampai 40°.

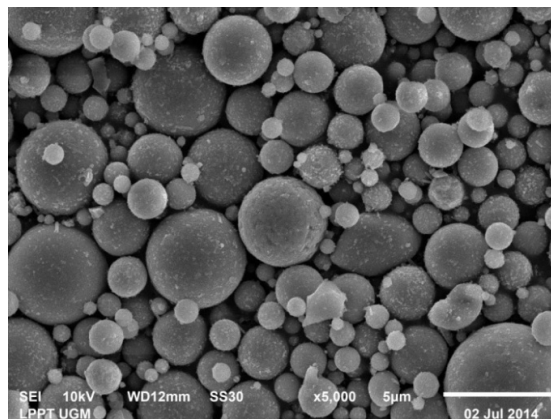
**Tabel 1.** Hasil Analisis Kandungan Kimia (XRF) Abu Layang PLTU Tanjung Jati Jepar

No	Komponen Kimia	Persen Berat
1	SiO <sub>2</sub>	44,94%
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,10
3	CaO	6,64%
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,25%
5	MgO	4,53%
6	Na <sub>2</sub> O	4,14%
7	K <sub>2</sub> O	2,38%

Analisis morfologi partikel dengan menggunakan SEM disajikan pada Gambar 2. Gambar 2 memperlihatkan bahwa partikel abu layang yang berbentuk bola (*spherical*) dengan ukuran butiran partikelnya diperkirakan antara 1-100  $\mu\text{m}$ . Ukuran dan bentuk partikel abu layang mempengaruhi keaktifan abu layang. Semakin kecil dan tidak beraturan bentuk partikel abu layang, semakin reaktif (mudah larut dalam asam/ basa) karena luas permukaan bidang sentuh dengan pelarut dalam hal ini adalah NaOH sebagai larutan pengaktif, semakin besar.

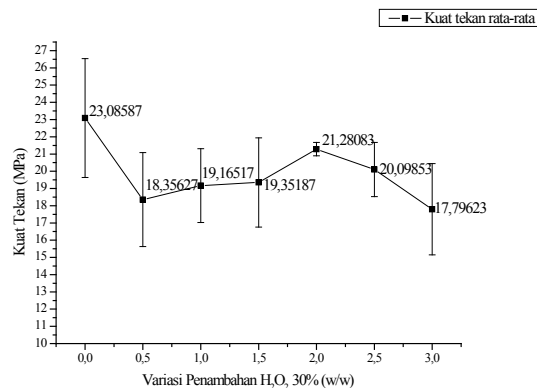


**Gambar 1.** Difraktogram Abu Layang PLTU Tanjung Jati Jepar (Q=quartz, M=mullite, Ma=magnetite)



**Gambar 2.** Morfologi Partikel Abu Layang PLTU Tanjung Jati Jepar

Gambar 3 menunjukkan bahwa kuat tekan geopolimer berbusa mencapai optimum pada penambahan hidrogen peroksida (konsentrasi 30%) sebesar 2% (b/b) dengan kuat tekan sebesar 21,28083 MPa. Berdasarkan hasil kuat tekan ini, karakterisasi geopolimer berbusa secara kualitatif (FTIR, XRD dan SEM) difokuskan pada benda uji yang mempunyai kekuatan paling tinggi, paling rendah dan benda uji tanpa penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebagai kontrol, yakni berturut-turut pada geopolimer dengan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% sebesar 2,0; 3,0 dan 0,0% (b/b).



**Gambar 3.** Hasil Uji Kuat Tekan 28 Hari Geopolimer Berbusa dengan Variasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

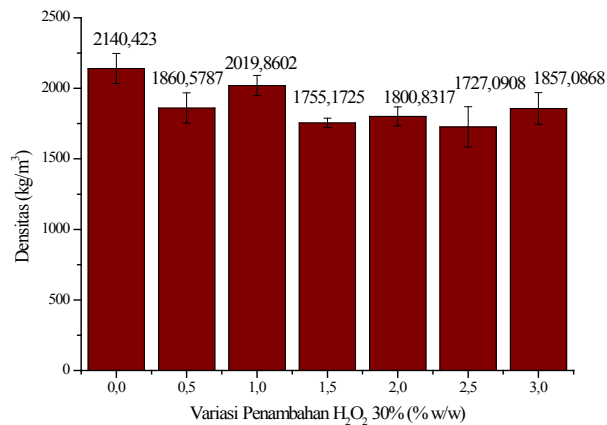
Hasil uji densitas geopolimer berbusa pada variasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa *trend* atau pola grafik diagram batang secara umum menunjukkan penurunan pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebesar 0,0; 1,0 dan 2,0%. *Trend* yang sama ditemukan pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebesar 0; 1,5 dan 2,5%. Pola yang turun kemudian naik secara tidak beraturan ditemukan pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebesar 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 dan 3,0% sehingga secara umum dapat dikatakan bahwa penambahan *foaming agent* akan menurunkan densitas geopolimer. Hal ini sejalan dengan kuat tekan geopolimer.

**Tabel 2.** Rasio Kuat Tekan/Densitas

No	Variasi Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30%	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Nilai Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Rasio Kuat Tekan/Densitas
1	0	23,0859	2140,4230	0,0108
2	0,5	18,3563	1860,5787	0,0099
3	1	19,1652	2019,8602	0,0095
4	1,5	19,3519	1755,1725	0,0110
5	2	21,2808	1800,8317	0,0118
6	2,5	20,0986	1727,0908	0,0116
7	3	17,7962	1857,0868	0,0096

Tabel 2 menunjukkan bahwa geopolimer yang paling cocok untuk aplikasi beton ringan adalah pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebesar 2,0% dengan rasio kuat tekan/densitas paling besar yakni

0,0118. Ini menunjukkan bahwa pada variasi tersebut, kuat tekan mencapai optimum (tertinggi dengan nilai 21,2808 MPa) dengan densitas yang optimum (1800,8317 kg/m<sup>3</sup>) pula.

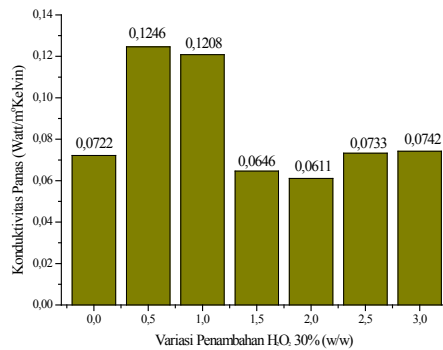


**Gambar 4.** Hasil Uji Densitas Geopolimer Berbusa pada Variasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%

$$\text{Rasio kuat tekan/densitas} = \frac{\text{nilai kuat tekan}}{\text{nilai densitas}}$$

Hasil pengujian konduktivitas panas pada geopolimer ditampilkan pada Gambar 5. Hasil uji konduktivitas panas pada berbagai variasi penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% sebagai *foaming agent* mempunyai *trend* atau pola yang sama dengan densitas. Konduktivitas panas paling besar dicapai oleh penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 0,5% yakni sebesar 0,1246 Watt/m<sup>°K</sup>, naik dari harga sebelumnya yakni pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 0,0% dengan nilai konduktivitas panas 0,722 Watt/m<sup>°K</sup>. Nilai konduktivitas panas selanjutnya mengalami penurunan pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 1,0% menjadi 0,1208 Watt/m<sup>°K</sup>. Penurunan konduktivitas panas selanjutnya terjadi sampai pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 1,5 dan 2,0% yakni berturut-turut 0,0646 dan 0,0611 Watt/m<sup>°K</sup>, kemudian mengalami kenaikan pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 2,5 dan 3,0% berturut-turut 0,0733 dan 0,0742 Watt/m<sup>°K</sup>. Dari sekian data konduktivitas panas yang diperoleh, didapatkan nilai konduktivitas panas paling rendah pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 2,0% yakni 0,0611 Watt/m<sup>°K</sup>.

Besarnya konduktivitas panas berbanding lurus dengan densitas dan kuat tekan. Konduktivitas yang rendah disebabkan oleh karena penghantaran panas yang terhalang oleh adanya pori-pori akibat penambahan *foaming agent*. Hal ini terjadi pada geopolimer dengan densitas yang rendah (memiliki banyak pori) dengan kelemahannya kuat tekan yang rendah. Sebaliknya konduktivitas yang tinggi disebabkan oleh karena penghantaran panas yang baik yakni pada geopolimer yang mempunyai matriks yang padat dan kompak dengan pori yang minimal dan ditandai dengan densitas yang tinggi dan kuat tekan yang tinggi pula (Vaou dan Panias, 2010).



**Gambar 5.** Hasil Uji Konduktivitas Termal Geopolimer Berbusa pada Variasi Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%

Hasil analisis kualitatif terhadap gugus fungsi dengan menggunakan metode FTIR ditampilkan pada Gambar 6 sedangkan hasil interpretasinya ditampilkan pada Tabel 4. Gambar 6 menunjukkan hasil analisis perubahan ikatan kimia pada geopolimer dengan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 0; 2,0 dan 3,0% pada masa simpan 28 hari. Puncak-puncak pada daerah sekitar 3400 cm<sup>-1</sup> dan 1600 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya vibrasi ulur (*stretching*)–OH dan vibrasi tekuk (*bending*) H–O–H dari molekul-molekul air. Pita ini menunjukkan bahwa terdapat molekul-molekul air pada permukaan maupun terjebak dalam rongga-rongga struktur kerangka geopolimer (Panias dkk., 2007). Hal ini membuktikan bahwa penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menyebabkan bertambahnya molekul air dari hasil peruraian H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menjadi H<sub>2</sub>O dan O<sub>2</sub>. Pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebesar 2% terlihat bahwa puncak pada daerah 950-1200 cm<sup>-1</sup> dan 3400 cm<sup>-1</sup> paling melebar dan tidak tajam diantara yang lain, sehingga dapat dipahami bahwa pada pada komposisi mencapai kuat tekan yang tertinggi, karena jumlah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> digunakan untuk bereaksi dengan CaO sehingga H<sub>2</sub>O sebagai hasil peruraian H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menjadi minimal. Sebaliknya pada penambahan 0 dan 3,0%, pita pada kedua daerah tersebut tampak tajam menandakan bahwa terdapat kadungan air yang cukup besar.

Pengamatan spektra FTIR juga difokuskan pada pembentukan ikatan Si–O–Si atau Si–O–Al pada daerah 400-1200 cm<sup>-1</sup> pada geopolimer. Pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,0 dan 3,0% terdapat pita pada daerah 500 dan 1000 cm<sup>-1</sup> yang semakin tajam dengan intensitas yang tinggi sedangkan pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2% pita yang sama terlihat melebar dengan intensitas yang lebih rendah. Puncak-puncak pada 950-1200 cm<sup>-1</sup> merupakan pita vibrasi ulur asimetri (*asymmetric stretching vibration*) Si–O–Si atau Si–O–Al terlihat semakin tajam menandai ikatan yang semakin kuat pada matriks (Bakharev, 2005). Puncak-puncak pada 470-450 cm<sup>-1</sup> yang merupakan vibrasi tekuk (*bending*) Si–O–Si atau Si–O–Al juga semakin tajam, namun kesemuanya ini tidak jauh berbeda secara signifikan. Pita-pita pada daerah sekitar 1000 cm<sup>-1</sup> merupakan vibrasi ulur asimetri (*asymmetric stretching vibration*) Si–O–Si atau Si–O–Al, menandai padat dan kompaknya matriks geopolimer yang disintesis. Puncak pada daerah 1404,18 cm<sup>-1</sup> menandai

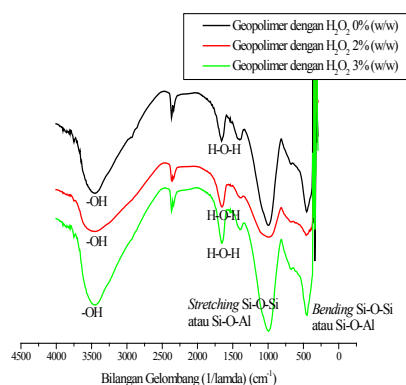


adanya vibrasi ulur O-C-O dalam Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebagai akibat reaksi karbonasi larutan NaOH dengan udara. Kesemua penjelasan ini terangkum dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Interpretasi Spektra FTIR pada Geopolimer Berbusa dengan Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

No	Pita Hasil Analisis FTIR pada Geopolimer Berbusa Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>			Interpretasi dan Referensi
	0,0%	2,0%	3,0%	
1	3448,72	3448,72	3448,72	Adanya vibrasi ulur ( <i>stretching</i> ) –OH (Panias dkk., 2007) Vibrasi tekuk ( <i>bending</i> ) H–O–H dari molekul-molekul air (Panias dkk., 2007)
2	1658,78	1651,07	1658,78	
3	1404,18	1381,03	1396,46	Vibrasi ulur O-C-O (Bakharev, 2005)
4	995,27	995,27	995,27	Vibrasi ulur ( <i>stretching asimetri</i> ) Si–O–Si dan Si–O–Al (Bakharev, 2005)
5	455,20	447,49	447,49	Vibrasi tekuk ( <i>bending</i> ) Si–O–Si dan O–Si–O (Bakharev, 2005)

Bila dibandingkan dengan material lain, geopolimer berbusa yang dihasilkan dari penelitian ini cukup potensial sebagai material konstruksi bangunan yang bersifat isolator panas. Referensi material lain ditampilkan pada Tabel 5. Expanded Polystyrene (EPS) yang merupakan material bersifat isolator panas mempunyai karakteristik antara lain konduktivitas panas sangat rendah yakni 0,029-0,041 W/m<sup>2</sup>K, sangat ringan dengan densitas 50 kg/m<sup>3</sup>, namun kekuatannya termasuk rendah dengan kuat tekan hanya 450 kPa (Vaou dan Panias, 2010). Bila dibandingkan dengan *Lightweight Concrete* (ACC komersil), kekuatan sudah agak tinggi yakni 1,8-8,5 MPa, densitasnya antara 300-1800 kg/m<sup>3</sup>, dan konduktivitas panasnya besar antara 0,07-0,11 W/m<sup>2</sup>K (Abdullah dkk., 2012). Beton ringan dengan kekuatan sedang memiliki kuat tekan 6,89-17,24 MPa, densitas antara 800-1440 kg/m<sup>3</sup>, dan konduktivitas panas besar 0,13-0,21 W/m<sup>2</sup>K. Geopolimer berbusa yang optimum dalam penelitian ini adalah geopolimer dengan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% sebanyak 2,0% (b/b) dengan hasil kuat tekan 21,2808 MPa, densitas 1800,8317 kg/m<sup>3</sup> dan konduktivitas panas 0,0611 Watt/m<sup>2</sup>K. Dengan merujuk pada Tabel 5 maka material ini potensial sebagai beton ringan dengan kekuatan sedang.



**Gambar 6.** Hasil Uji Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR pada Geopolimer Berbusa pada Variasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%

**Tabel 5.** Refensi Bahan Konstruksi Insulating Material

Material	Expanded Polystirene (EPS) <sup>a</sup>	Lightweight Concrete (ACC komersil) <sup>b</sup>	Beton Ringan dengan Kekuatan Sedang <sup>c</sup>
Kuat Tekan	450 kPa	1,8-8,5 MPa	6,89-17,24 MPa
Densitas	50 kg/m <sup>3</sup>	300-1800 kg/m <sup>3</sup>	800-1440 kg/m <sup>3</sup>
Konduktivitas Termal	0,029-0,041 W/m <sup>o</sup> K	0,07-0,11 W/m <sup>o</sup> K	0,13-0,21 W/m <sup>o</sup> K

Sumber: <sup>a</sup>Vaou dan Panias, 2010; <sup>b</sup>Abdullah dkk., 2012; <sup>c</sup>Harjanto dkk., 2007

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari data hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebagai *foaming agent* berpengaruh terhadap sifat fisika dan kimia geopolimer berbuisa yang dihasilkan. Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> secara umum menurunkan kekuatan geopolimer dengan adanya pori yang terbentuk dari hasil peruraian H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menjadi H<sub>2</sub>O dan O<sub>2</sub>. Oleh karena itu penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> juga akan menurunkan densitas dan konduktivitas termalnya. Secara kimiawi, sifat material yang dapat diamati dari analisis dengan menggunakan FTIR, XRD dan SEM. Hasil analisis gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan bahwa penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tidak menimbulkan gugus fungsi baru dalam geopolimer, ditandai dengan adanya pita yang menunjukkan ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al tidak berubah secara signifikan. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa material hasil sintesis berfasa amorf. Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menyebabkan bertambahnya fasa kristal mineral sisa reaktan karena sebagian H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bereaksi dengan basa. Hasil analisis dengan SEM membuktikan bahwa penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memperbesar jumlah dan ukuran pori sampai dengan lebih dari 100µm. Jumlah optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang ditambahkan untuk menghasilkan geopolimer berbuisa dengan sifat kuat, densitas rendah dan isolator panas adalah pada penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% sebanyak 2,0% (b/b) dengan hasil kuat tekan 21,2808 MPa, densitas 1800,8317 kg/m<sup>3</sup> dan konduktivitas panas 0,0611 Watt/m<sup>o</sup>K. Material ini potensial sebagai beton ringan dengan kekuatan sedang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Homoud, M.S., 2005, Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials, Building and Environment. 40: 353–366.
- Van Deventer, J. S. J., Provis, L. J., dan Lukey, G. C., 2007, Reaction Mechanisms in the Geopolymeric Conversion of Inorganic Waste to Useful Products, Journal of Hazardous Materials, 139 : 506-513.