

SINTESIS GEOPOLIMER BERBAHAN ABU VULKANIK DENGAN PENAMBAHAN ALUMINIUM HIDROKSIDA SEBAGAI PENGATUR RASIO SILIKA DAN ALUMINA

Ella Kusumastuti

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

Abstrak. Sintesis geopolimer berbahan abu vulkanik telah berhasil dilakukan dengan penambahan aluminium hidroksida untuk menurunkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bahan awal. Tingginya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ abu vulkanik ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5,55$) menyebabkan hanya sedikit monomer silikat dan aluminat yang larut dalam larutan NaOH, sehingga pengerasan berlangsung pada konsentrasi larutan pengaktif NaOH yang tinggi dan kondisi curing 3 hari dan 70°C . Oleh karena itu rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bahan awal perlu divariasikan dengan penambahan aluminium hidroksida untuk menyelidiki pengaruhnya terhadap pengerasan. Reaktan lain (abu vulkanik, larutan NaOH dan Na silikat) dibuat tetap sehingga didapatkan variasi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berkisar 2,5-3,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aluminium hidroksida mempengaruhi kekuatan akhir dan sintesis dapat dilakukan pada suhu ruang. Komposisi dengan kekuatan optimum 45,43 MPa dicapai pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$, sedangkan kekuatan minimum 23,95 MPa pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$. Analisis fasa mineral dengan XRD dan ikatan kimia dengan FTIR menunjukkan bahwa telah terbentuk fasa amorf aluminosilikat (quartz dan mullite) dengan rantai Si–O–Si dan Si–O–Al serta terdapat mineral gibbsite sebagai sisa dari aluminium hidroksida yang tidak bereaksi.

Kata Kunci : abu vulkanik merapi, geopolimer, polimer anorganik aluminosilikat, aluminium hidroksida

PENDAHULUAN

Letusan gunung berapi memberikan dampak negatif terhadap masyarakat sekitarnya dengan dikeluarkannya material abu vulkanik. Abu dengan ukuran sangat halus tersebut dalam jangka pendek dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi pada kulit dan mata. Pada jangka panjang abu vulkanik dapat menyebabkan silikosis, yakni suatu penyakit yang disebabkan karena paparan kristal silikat pada saluran pernapasan yang pada akhirnya dapat meningkatkan resiko timbulnya penyakit kanker paru-paru (Bolly, 2010). Abu vulkanik gunung Merapi di Yogyakarta menyebabkan ratusan warga yang menghirupnya menderita ISPA (Bernas Jogja, 2010). Untuk

itu diperlukan upaya penanganan abu vulkanik secara serius baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Geopolimer merupakan suatu 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). Salah satu parameter penting dalam komposisi bahan awal geopolimer adalah kuantitas senyawa-senyawa yang terlibat dalam pembentukan rantai geopolimer. Senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 yang merupakan oksida utama disamping oksida-oksida lain, sangat berperan penting dalam pembentukan rantai polimer Si-O-Al. Dalam geopolimerisasi terjadi aktivasi oleh larutan alkali pada material yang kaya akan SiO_2 dan Al_2O_3 dengan mekanisme yang melibatkan pelarutan Si dan Al, transportasi (orientasi) spesies terlarut dan diikuti oleh polikondensasi membentuk aluminosilikat berstruktur tiga dimensi (Rizain, 2008; Aly dkk, 2008). Oleh karena itu perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tertentu dari bahan awal akan menghasilkan rantai polimer dengan karakter yang berbeda pada produk geopolimer yang dihasilkan sehingga menghasilkan sifat yang berbeda pula (Davidovits, 1994). Geopolimer telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang antara lain sebagai bahan bangunan (Palomo dkk., 1999), komposit dan refraktori (Komnitsas dan Zaharaki, 2007), insulator dan untuk penanganan limbah beracun (Phair dan van Deventer, 2003).

Abu vulkanik dikatakan sebagai material yang bersifat *pozzolanik*, yakni suatu material dengan kandungan utama silika dan alumina (Sudaryo dan Sutjipto, 2009) yang mana silika dan alumina tersebut dapat bereaksi dengan kapur (*lime*) pada suhu rendah (suhu kamar) dan dengan kehadiran air untuk menghasilkan suatu hidrat yang mempunyai sifat mengikat (*binding*) atau sementasi (Adamiec dkk., 2008). Kandungan mineral abu vulkanik yakni 45,7% SiO_2 dan 14,00% Al_2O_3 atau dapat dikatakan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5,55$ (Kusumastuti, 2012). Dengan tingginya rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ini, sintesis geopolimer abu vulkanik memerlukan larutan pengaktif NaOH dengan konsentrasi yang tinggi serta kondisi *curing* selama 3 hari pada suhu 70°C (Kusumastuti, 2012). Oleh karena diperlukan bahan tambahan yang dapat menurunkan rasio Silika dan Alumina, yakni padatan aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) yang mempunyai sifat larut dalam basa kuat serta bersifat amorf. Dengan diturunkannya rasio Silika dan Alumina pada bahan awal menjadi sekitar 2,5-3,5 diharapkan geopolimer dapat disintesis pada kondisi normal (suhu ruang) dengan sifat-sifat yang optimal pula.

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan rasio Silika dan Alumina dalam bahan awal sintesis geopolimer berbahan dasar abu vulkanik dengan menggunakan aluminium hidroksida, mensintesis geopolimer dari bahan dasar abu vulkanik dengan penambahan aluminium hidroksida pada kondisi normal, serta mengkarakterisasi geopolimer berbahan dasar abu vulkanik dengan penambahan aluminium hidroksida yang telah dihasilkan untuk mengetahui sifat-sifat yang dihasilkan.

METODE

Peralatan yang digunakan antara lain cetakan silinder plastik, pengaduk (*mixer*), oven, neraca analitik serta peralatan plastik (beaker *polipropilen*, gelas dan wadah plastik serta pengaduk plastik). Sedangkan untuk karakterisasi digunakan alat XRF (*X-Ray Fluorescence*), Mesin Penguji Kuat Tekan (*Universal Testing Machine*), alat XRD (*X-Ray Diffraction*), serta alat FTIR (*Fourier Transform Infrared*).

Bahan yang digunakan antara lain sampel abu vulkanik gunung Merapi yang diambil dari daerah Sleman Yogyakarta, natrium hidroksida pelet (NaOH 99%), binder/*plasticizer* berupa larutan Na silikat (Na_2SiO_3) teknis, aquades (H_2O) dan aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Campuran antara larutan NaOH (H_2O dan NaOH) dengan Na silikat selanjutnya disebut sebagai larutan pengaktif.

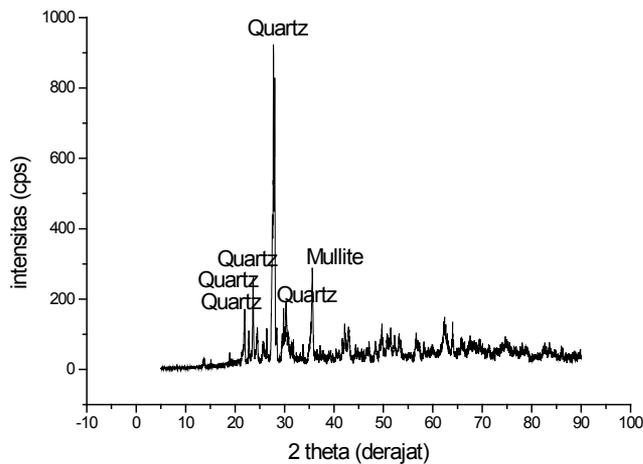
Sintesis geopolimer dilakukan dengan cara mencampurkan abu layang dengan larutan pengaktif dan aluminium hidroksida (Kusumastuti, 2009). Pencampuran dilakukan dengan menggunakan tangan selama 2 menit kemudian dengan *mixer* selama 5 menit sampai benar-benar homogen (Xu dan van Deventer, 2000; van Jaarsveld dkk., 2003). Campuran ini dituang dalam cetakan silinder plastik dengan diameter 1,5 cm dan tinggi 3 cm (perbandingan diameter dan tinggi silinder 1: 2) (Bakharev, 2005a; Andini dkk., 2008). Penuangan dilakukan secara bertahap dan divibrasi selama 15 menit agar lebih padat dan untuk mengurangi gelembung udara (Duxson dkk., 2005). Hasil pencetakan ini disebut pelet atau benda uji. Pelet didiamkan pada suhu ruang selama minimal 1 jam sampai dapat dilepaskan dari cetakannya (Chindaprasirt dkk., 2007). 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 (De Silva dkk., 2007).

Sintesis geopolimer dilakukan pada Si/Al sekitar 3, yakni dipilih rentang Si/Al=2,5-3,5 karena pada geopolimer abu layang yang sudah diteliti menunjukkan sifat terbaik pada Si/Al bahan awal sebesar 3 (Kusumastuti, 2009). Pengulangan sintesis dilakukan tiga kali untuk memenuhi galat 15%. Karakterisasi pada pelet dilakukan pada usia 28 hari (Hardjito dkk., 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi abu vulkanik meliputi analisis kandungan bahan kimia dan kandungan fasa mineral penting dilakukan karena sifat fisik dan kimia abu vulkanik sangat berpengaruh pada proses sintesis maupun sifat geopolimer yang dihasilkan. Hasil analisis komposisi kimia abu vulkanik Merapi dengan metode XRF menyatakan bahwa abu ini mengandung komponen yang heterogen dengan komponen utama (jumlahnya mayor) yakni 45,7% berat SiO_2 ; 14,00% berat Al_2O_3 ; 16,1% berat CaO; 18,2% berat Fe_2O_3 dan 3,86% berat K_2O . Hasil analisis kandungan abu

vulkanik ini terlihat bahwa material ini termasuk *pozzolanik* yakni mempunyai SiO_2 dan Al_2O_3 yang tinggi. Analisis kandungan fasa mineral pada abu vulkanik dengan menggunakan metode XRD menunjukkan bahwa abu vulkanik merupakan material dengan kandungan utama mineral *quartz* dan *mullite* seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Secara semikuantitatif dari difraktogram tersebut tampak bahwa material abu vulkanik bersifat *amorf* (ditandai adanya *hump*/ gundukan-gundukan) dengan sedikit kandungan kristal (ditandai adanya puncak tajam fasa mineralnya).



Gambar 1. Difraktogram Abu Vulkanik Merapi

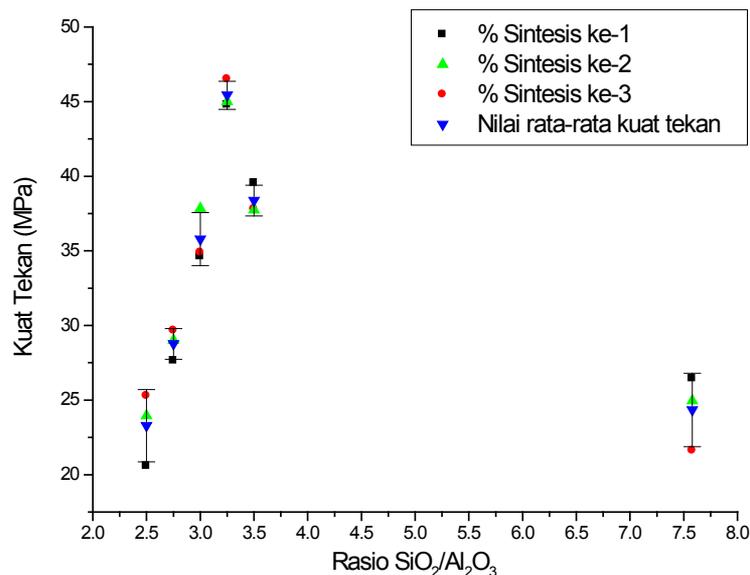
Analisis Kuat Tekan

Pengukuran kekuatan akhir pada produk geopolimer dilakukan setelah pelet/benda uji berumur 28 hari mengingat pada umur tersebut perkembangan kekuatan geopolimer sudah optimum. Hasil pengukuran kuat tekan disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1 memperlihatkan kuat tekan pada variasi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan tiga kali sintesis sedangkan Gambar 2 memperlihatkan grafik hubungan antara rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap kuat tekan yang diperoleh. Dari tabel dan gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi tanpa penambahan aluminium hidroksida, rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cukup tinggi yakni sebesar 7,58. Komposisi ini dibuat sebagai kontrol. Penambahan aluminium hidroksida sebesar 6,25 gram akan menurunkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari 7,58 menjadi 3,5. Selanjutnya penambahan aluminium hidroksida 6,73 menurunkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menjadi 3,25 dan seterusnya hingga $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,5$. Dari variasi tersebut didapatkan hasil semakin tinggi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (penambahan aluminium hidroksida semakin sedikit) semakin tinggi kuat tekannya hingga dicapai kekuatan optimum pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$ yakni sebesar 45,43 MPa.

Tabel 1. Kuat Tekan pada Variasi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan Tiga Kali Sintesis

Al(OH) ₃ (gram) yang ditambahkan	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Perhitungan	Kuat Tekan			Kuat Tekan Rata-rata	Standart Deviasi
		Sintesis ke-1 (MPa)	Sintesis ke-2 (MPa)	Sintesis ke-3 (MPa)		
8,76	2,50	20,59	25,29	23,95	23,28	2,42
7,96	2,75	27,64	29,66	29,00	28,77	1,03
7,3	3,00	34,62	34,9	37,83	35,78	1,77
6,73	3,25	44,78	46,51	45,00	45,43	0,94
6,25	3,50	39,55	37,8	37,74	38,36	1,02
0	7,58	26,44	21,62	24,95	24,36	2,46



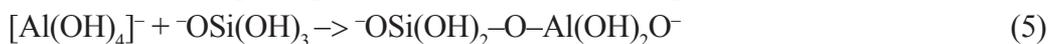
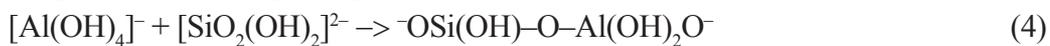
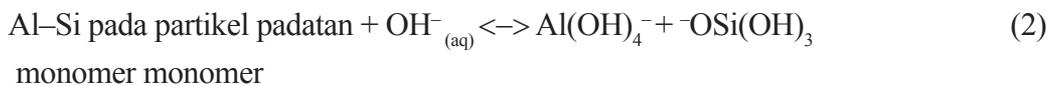
Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Terhadap Kuat Tekan yang Diperoleh

Sintesis geopolimer dengan variasi komposisi dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berkisar 2,5 sampai 3,5 dilakukan dengan tiga kali pengulangan yakni sintesis ke-1, 2 dan 3. Dari Tabel 1 dan Gambar 2 tersebut dapat pula diketahui standart deviasi dari variasi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ kuat tekan pada tiga kali sintesis masing-masing komposisi geopolimer, dimana pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$ mempunyai standart deviasi paling kecil, menyatakan kesalahan pengukuran kuat tekan yang kecil.

Penambahan aluminium hidroksida berpengaruh positif terhadap kuat tekan, yakni memperbesar kekuatannya dari 24,36 MPa (pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=7,58$) hingga menjadi 45,43 MPa (pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$). Pada penambahan aluminium hidroksida selanjutnya yakni $\text{SiO}_2/$

$Al_2O_3=3,00$ kekuatannya menjadi turun karena terdapat kelebihan aluminium hidroksida yang tidak larut sehingga tidak bereaksi. Aluminium hidroksida dalam basa kuat akan larut menjadi spesies aluminat $[Al(OH)_4]^-$ yang nantinya ikut berperan dalam berikatan silang dengan spesies silikat dalam reaksi geopolimersisasi membentuk ikatan Si-O-Al. Spesies aluminat $[Al(OH)_4]^-$ yang berlebih akan menurunkan kekuatannya sehingga dapat dipahami turunnya kekuatan geopolimer dari $SiO_2/Al_2O_3=3,00$ sampai $SiO_2/Al_2O_3=2,50$ sejalan dengan semakin banyaknya penambahan aluminium hidroksida.

Persamaan reaksi yang mungkin terjadi dalam pelarutan aluminium hidroksida menghasilkan spesies $[Al(OH)_4]^-$ ditunjukkan oleh persamaan (1), sedangkan pelarutan Si dan Al pada permukaan partikel padatan abu layang ditunjukkan oleh persamaan (2) menghasilkan spesies $Al(OH)_4^-$ dan $^-OSi(OH)_3$. Persamaan (3) menunjukkan reaksi pelarutan silikat pada natrium silikat yang menghasilkan $[SiO_2(OH)_2]^{2-}$. Selanjutnya aluminat dan silikat dari pelarutan-pelarutan bahan awal tersebut akan berikatan silang membentuk rantai Si-O-Al geopolimer dengan membebaskan H_2O (reaksi polikondensasi) seperti ditunjukkan persamaan (4) dan (5). Terbentuknya rantai Si-O-Al yang amorf inilah yang berperan dalam pengerasan geopolimer. Spesies spesies aluminat dan silikat yang tidak bereaksi atau tersisa akan menurunkan kekuatan dan menghambat pengerasan (Kusumastuti, 2009).

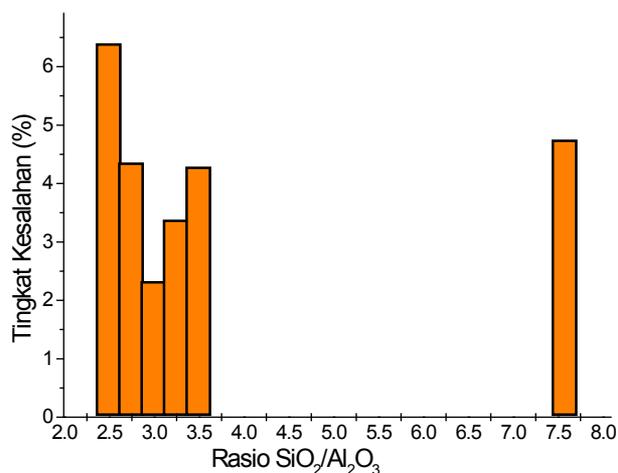


Analisis Komposisi dengan XRF

Analisis dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dilakukan untuk mengetahui komposisi sebenarnya pada variasi yang sudah dibuat dengan penambahan aluminium hidroksida. Hasil analisis ini ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 3. Komposisi dengan rasio $SiO_2/Al_2O_3=7,58$ yang berfungsi sebagai kontrol ternyata dengan metode XRF menunjukkan $SiO_2/Al_2O_3=7,22$ atau tingkat kesalahannya 4,25%. Komposisi yang lain menunjukkan bahwa sejalan dengan penambahan aluminium hidroksida, rasio SiO_2/Al_2O_3 akan turun dimana tingkat kesalahan masing-masing pada $SiO_2/Al_2O_3=3,5; 3,25; 3,00; 2,75$ dan $2,50$ adalah 4,29%; 3,38%; 2,33%; 4,36% dan 6,40%. Hal ini menunjukkan bahwa rasio SiO_2/Al_2O_3 yang dibuat melalui perhitungan tidak selalu tepat mengingat hanya spesies-spesies aktif aluminat dan silikat yang dapat melakukan reaksi ikat silang untuk membentuk rantai Si-O-Al.

Tabel 2. Hasil XRF pada Rasio SiO₂/Al₂O₃

Al(OH) ₃ (gram)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Perhitungan	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Praktis (dari XRF)	Tingkat Kesalahan	Rata-rata Tingkat Kesalahan
8,76	2,50	2,34	6,40%	4,25%
7,96	2,75	2,63	4,36%	
7,3	3,00	2,93	2,33%	
6,73	3,25	3,14	3,38%	
6,25	3,50	3,35	4,29%	
0	7,58	7,22	4,75%	



Gambar 3. Hubungan antara Rasio SiO₂/Al₂O₃ dengan Tingkat Kesalahannya

Pada rasio SiO₂/Al₂O₃ yang tinggi yakni SiO₂/Al₂O₃=7,58, spesies silikat dan aluminat yang aktif hanya berasal dari pelarutan abu vulkanik dan Na silikat (persamaan (2) dan (3)). Data analisis dengan menggunakan XRF menunjukkan bahwa komposisi ini mempunyai rasio SiO₂/Al₂O₃=7,22 karena terdapat aluminat yang tidak bereaksi atau tersisa pada komposisi ini. Dengan penambahan aluminium hidroksida maka spesies aluminat aktif akan bertambah (persamaan (1)) sehingga dapat bereaksi dengan sisa silikat sehingga rasio SiO₂/Al₂O₃ akan turun dan tingkat kesalahannya juga menurun yakni 4,29% saja. Penurunan tingkat kesalahan juga terjadi pada komposisi dengan rasio SiO₂/Al₂O₃=3,50 sampai SiO₂/Al₂O₃=3,00 dimana pada komposisi SiO₂/Al₂O₃=3,00 dicapai rasio SiO₂/Al₂O₃ sesungguhnya sebesar 2,93 atau tingkat kesalahan 2,33%. Hal sebaliknya terjadi pada komposisi rasio SiO₂/Al₂O₃=3,00 sampai SiO₂/Al₂O₃=2,50 yakni terjadi kenaikan tingkat kesalahan rasio SiO₂/Al₂O₃=3,00. Pada variasi komposisi tersebut penambahan aluminium hidroksida yang semakin meningkat akan meningkatkan pula sisa

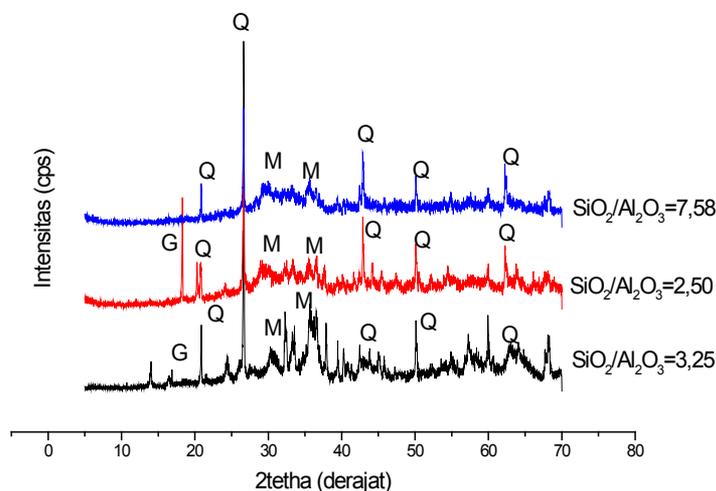
spesies aluminat yang tidak bereaksi ikat silang dengan silikat sehingga rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ semakin menurun diikuti kenaikan tingkat kesalahan.

Dari Tabel 3 dan Gambar 3 disimpulkan bahwa rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang dibuat secara umum dapat dianggap cukup mempunyai validitas mengingat tingkat kesalahannya rata-rata di bawah 5%. Dari keenam variasi yang dibuat hanya satu yang mempunyai tingkat kesalahan di atas 5% yakni pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$.

Analisis Fasa Mineral dengan XRD

Analisis kualitatif pada produk geopolimer dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dimaksudkan untuk mengetahui kandungan fasa mineral dan keamorfan produk geopolimer. Analisis ini dilakukan pada komposisi yang mempunyai kekuatan paling besar yakni pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$, komposisi yang mempunyai kekuatan paling kecil yakni $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$ dan pada komposisi yang dijadikan sebagai kontrol (tanpa penambahan aluminium hidroksida) yakni $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=7,58$. Difraktogram hasil analisis dengan XRF ditampilkan pada Gambar 4.

Pada difraktogram geopolimer tampak bahwa mineral utama adalah *quartz* dan *mullite* sedangkan *gibbsite* ada dalam jumlah yang sangat minor. Mineral *quartz* ditunjukkan dengan adanya puncak pada $2\theta=20,83^\circ$; $2\theta=26,61^\circ$; $2\theta=39,46^\circ$; $2\theta=50,09^\circ$; $2\theta=59,92^\circ$ dan $2\theta=68,19^\circ$ (PDF 05-0490), *mullite* pada $2\theta=30,16^\circ$; $2\theta=42,89^\circ$ dan $2\theta=35,47^\circ$ (PDF 06-0258), dan puncak dengan intensitas kecil pada $2\theta=18,3^\circ$ merupakan puncak *gibbsite* (PDF 07-0324 dan PDF 29-0041).



Gambar 4. Difraktogram Geopolimer dan Analisis Mineralnya. Q=quartz (SiO_2), M=mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), G=gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$)

Pada komposisi yang mencapai kekuatan maksimal yakni $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$ difraktogram menunjukkan bahwa geopolimer yang dihasilkan adalah amorf ditandai adanya ketidakteraturan pada *background* difraktogramnya, serta terdapat puncak kecil *gibbsite* sebagai tanda ada sedikit aluminium hidroksida yang tidak berikat silang. Kandungan fasa amorf yang besar (ditandai adanya *hump* atau gundukan yang besar) dengan sedikit jenis mineral sisa reaktan (lebih homogen komponen kristalnya), menjadikan geopolimer dengan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$ mempunyai kuat tekan yang paling tinggi yakni 45,43 MPa.

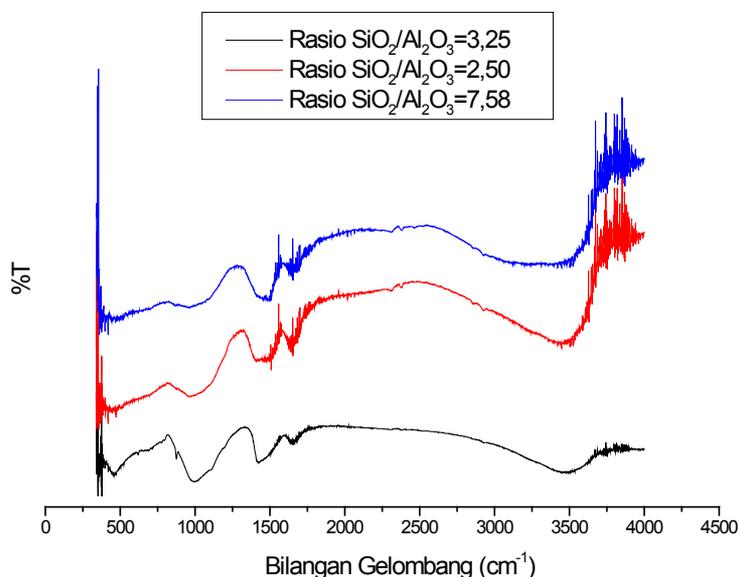
Pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,5$ tampak bahwa puncak mineral *gibbsite* cukup tinggi (lebih tinggi daripada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$) sehingga menjadikan kekuatannya lebih rendah. Dapat dipahami bahwa pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,5$ dilakukan penambahan aluminium hidroksida yang besar sehingga dalam reaksi pelarutan dengan basa kuat bahan ini tidak larut sempurna menjadi $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ sehingga tersisa sebagai *gibbsite* ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Pada difraktogram rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=7,58$ yang merupakan komposisi kontrol tanpa penambahan aluminium hidroksida tidak tampak adanya mineral *gibbsite*, namun terdapat puncak mineral *quartz* yang tinggi sebagai akibat adanya SiO_2 yang tinggi pula.

Analisis Ikatan dengan FTIR

Metode spektroskopi FTIR digunakan untuk mengetahui adanya ikatan Si–O–Al yakni perubahan vibrasi molekul sebagai akibat interaksi dengan gelombang elektromagnet infra merah pada bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} .

Dalam studi ini, perhatian difokuskan pada perubahan yang terjadi pada puncak-puncak pita vibrasi yang khas dan utama pada geopolimer. Pita vibrasi pada 1200-950 cm^{-1} merupakan daerah vibrasi ulur asimetri (*asymmetric stretching vibration*) Si–O–Si atau Si–O–Al (Bakharev, 2005). Pita serapan pada bilangan gelombang 750-550 cm^{-1} merupakan daerah vibrasi ulur simetri (*symmetric stretching vibration*) Si–O–Si atau Si–O–Al dan pada 470-460 cm^{-1} merupakan vibrasi tekuk (*bending vibration*) Si–O–Si atau O–Si–O (Panias dkk., 2007). Pita serapan pada 800 cm^{-1} adalah daerah yang karakteristik untuk vibrasi AlO_4 (Bakharev, 2005). Puncak pada daerah sekitar 3400 cm^{-1} dan 1600 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur –OH dan vibrasi tekuk H–O–H dari molekul air.

Analisis dengan metode spektroskopi FTIR dilakukan pada komposisi yang mempunyai kekuatan paling besar yakni pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$, komposisi yang mempunyai kekuatan paling kecil yakni $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$ dan pada komposisi yang dijadikan sebagai kontrol (tanpa penambahan aluminium hidroksida) yakni $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=7,58$. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Spektrum FTIR Geopolimer pada Komposisi dengan Kekuatan Tertinggi, Terendah dan Kontrol

Pada Gambar 5 dapat kita lihat bahwa pita vibrasi pada 1200-950 cm^{-1} yang merupakan daerah vibrasi ulur asimetri (*asymmetric stretching vibration*) Si–O–Si atau Si–O–Al tampak paling tajam pada komposisi dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$. Hal ini menunjukkan ikatan Si–O–Si atau Si–O–Al paling kuat pada komposisi ini dibuktikan dengan kekuatannya yang optimum. Sedangkan pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$ dan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=7,58$ pita vibrasi Si–O–Si atau Si–O–Al tampak tidak tajam, dengan puncak yang tajam pada daerah sekitar 3400 cm^{-1} dan 1600 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur –OH dan vibrasi tekuk H–O–H dari molekul air. Puncak yang tajam di daerah sekitar 3400 cm^{-1} pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$ menandakan adanya vibrasi –OH yang diakibatkan oleh mineral $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada penambahan aluminium hidroksida yang besar.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sintesis geopolimer dengan bahan dasar abu vulkanik dapat dilakukan pada kondisi normal dengan penambahan aluminium hidroksida sebagai pengatur rasio Silika dan Alumina. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang dibuat dari rentang 2,5-3,5 dengan penambahan aluminium hidroksida cukup mempunyai validitas mengingat tingkat kesalahannya rata-rata di bawah 5%.

Geopolimer yang dihasilkan dari abu vulkanik dengan penambahan aluminium hidroksida

tersebut mempunyai sifat-sifat (a). kekerasan optimum pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$ (45,43 MPa) sedangkan kekerasan minimum pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$ (23,95 MPa); (b). kekuatan optimum pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$ ditandai oleh kandungan fasa amorf *quartz* dan *mullite* besar dengan sedikit jenis mineral sisa reaktan, sedangkan pada $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$ terdapat puncak *gibbsite* yang tinggi menandakan adanya sisa aluminium hidroksida yang tidak berikat silang (tersisa tidak bereaksi); (b). adanya puncak yang tajam di daerah pita vibrasi 1200-950 cm^{-1} yang merupakan daerah vibrasi ulur asimetri (*asymmetric stretching vibration*) Si–O–Si atau Si–O–Al pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,25$ menandakan kuatnya ikatan tersebut, sedangkan puncak tajam dan lebar di daerah 3400 cm^{-1} pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2,50$ menandakan adanya vibrasi –OH yang diakibatkan oleh mineral $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada penambahan aluminium hidroksida yang besar sehingga dapat dihubungkan dengan kekuatannya yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakharev, T. 2005a. Geopolymeric Materials Prepared Using Class F Fly Ash and Elevated Temperature Curing. *Cement and Concrete Research*, 35 : 1224-1232.
- Bernas Jogja. 1 November 2010. *Terserang ISPA Tiga Korban Abu Vulkanik Opname*. hal. 3.
- Bolly, H. M. B. 2009. Bahaya Silikosis Abu Vulkanik.
- Chindaprasirt, 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. 1991. Geopolymer : Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis*, 3 : 1633-1656.
- De Silva, P., Sagoe-Crenstil, K., dan Sirivivatnanon, V. 2007. Kinetics of Geopolymerization : Role of Al_2O_3 and SiO_2 . *Cement and Concrete Research*, 37 : 512-518.
- Duxson, P., Provis, J. I., Mallicoat, S. W., Lukey, G. C., Kriven, W., M., dan van Deventer, J.S.J. 2005. Understanding the Relationship between Geopolymer Composition, Microstructure and Mechanical Properties. *Colloids and Surfaces*, 269, hal. 47-58.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, M. J., Rangan, B. V. 2004. Factors Influencing The Compressive Strength of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Dimensi Teknik Sipil*, 6 (2) : 88-93.
- Komnitsas, K. dan Zaharaki, D. 2007. Geopolimerisation : A Review and Prospects for the Minerals Industry. *Minerals Engineering*, 20 : 1261-1277.
- Kusumastuti, E. 2009. *Geopolimer Abu Layang Batubara : Studi Rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Dan Sifat-Sifat Geopolimer yang Dihasilkan*. Tesis tidak diterbitkan. Surabaya : Program

Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Kusumastuti, E. 2012. Pemanfaatan Abu Vulkanik Merapi sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat). *Jurnal MIPA Universitas Negeri Semarang*. 35 : 1.
- Palomo, A., Grutzeck, M. W., dan Blanco, M. T. 1999. Alkali-Activated Fly Ashes, A Cement for the Future. *Cement and Concrete Research*. 29 : 1323-1329.
- Phair, J. W., Smith, J. D., dan van Deventer, J. S. J. 2003. Characteristics of Aluminosilicate Hydrogels Related to Commercial Geopolymers. *Materials Letters*. 57 : 4356-4367.
- Sudaryo dan Sutjipto. 2009. *Identifikasi dan Penentuan Logam pada Tanah Vulkanik di Daerah Cangkringan Kabupaten Sleman dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Cepat*. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN Yogyakarta, 5 November 2009.
- Van Jaarsveld, J.G.S. dan van Deventer, J. S. J. 2003. The Potential Use of Geopolimeric Materials to Immobilize Toxic Metals : Part I Theory and Applications. *Minerals Engineering*. 10 (7) : 659-669.
- Xu, H. dan van Deventer, J. S. J. 2000. The Geopolymerisation of Alumino-silicate Minerals. *International Journal of Mineral Processing*. 59 : 247-266.