

## **SINTESIS ADITIF SEMEN $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> DARI ABU SEKAM PADI DENGAN VARIASI TEMPERATUR PENGABUAN**

**Himmatul Aina, Nuryono, dan Iqmal Tahir**

*Jurusan Kimia, Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada*

*Sekip Utara, Yogyakarta 55281*

*Tel/Fax : 0274-545188; Email : himmatul.aina@yahoo.co.id*

### **INTISARI**

Telah dilakukan sintesis aditif semen  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dari abu sekam padi (ASP) dengan variasi temperatur pengabuan. Arang sekam yang didapat diabukan pada variasi suhu 500, 600, 700, 800, dan 900 °C selama 4 jam. Hasil yang diperoleh digunakan sebagai sintesis aditif semen  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>. Sintesis aditif semen  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> diawali dengan pemanasan CaO pada suhu 900 °C selama 1 jam. Dibuat campuran antara SiO<sub>2</sub> : CaO : BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O dengan perbandingan mol 1: 1,92 : 0,08. Kemudian ditambahkan akuades ke dalam masing-masing campuran padatan tersebut dengan perbandingan antara padatan : akuades adalah 1 : 20. Langkah berikutnya adalah masing-masing campuran disonikasi selama 1 jam, kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C. Langkah terakhir yaitu dipanaskan pada suhu 800 °C selama 1 jam. Kajian sifat fisis meliputi struktur kristalinitas ASP menggunakan difraksi sinar-X (XRD) dan adanya gugus fungsional menggunakan *Fourier Transformation Infra Red* (FTIR). Karakterisasi dengan difraksi sinar-X menunjukkan bahwa abu sekam padi yang diabukan pada suhu 500, 600, 700 dan 800 °C mempunyai struktur yang amorf, sedangkan produk pengabuan suhu 600 dan 700 °C menghasilkan kristalinitas yang tinggi. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa aditif semen  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> telah dapat disintesis dengan ditunjukkan oleh munculnya serapan inframerah dari gugus fungsional silanol (Si-OH), siloksan (Si-O-Si).

Kata kunci : aditif semen, abu sekam padi, kalsium silikat

### **PENDAHULUAN**

Indonesia sejak lama telah dikenal sebagai negara agraris dengan tanaman padi sebagai fokus pertanian masyarakat yang dikembangkan. Dari hasil pertanian tanaman padi, akan dihasilkan limbah sekam padi dan pemanfaatan yang ada masih terbatas sebagai bahan pembakar batu bata merah atau untuk keperluan pembuatan

abu gosok. Pemanfaatan tersebut hanya menggunakan sebagian kecil dari jumlah limbah sekam padi yang ada sehingga nilai ekonomis yang didapatkan juga masih relatif kecil (Prasetyani, 1994). Sekam padi merupakan lapisan keras yang membungkus kariopsis butir gabah, terdiri atas dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan gabah, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Dari proses penggilingan gabah akan dihasilkan 16,3-28% sekam (Nugraha dan Setiawati, 2006). Untuk diversifikasi pemanfaatan limbah abu sekam padi, pada penelitian ini akan dicoba alternatif lain dengan mengupayakan konversi abu sekam padi menjadi produk yang memberikan nilai ekonomis lebih, sekaligus dalam rangka peningkatan kualitas lingkungan.

Pada sisi lain, industri saat ini yang berkembang pesat adalah inudstri semen guna menghasilkan produk semen yang banyak dibutuhkan masyarakat. Industri ini membutuhkan bahan baku yang beragam dan salah satunya adalah kebutuhan kalsium silikat. Bahan ini diproses menjadi semen bersama-sama dengan kalsium aluminat dan kalsium aluminoferiit melalui reaksi fasa padat yang berlangsung pada temperatur sekitar 1450 °C (Taylor, 1964). Dua jenis kalsium silikat ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  dan  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) yang mencapai 75% dalam semen pada umumnya, memberi kontribusi terbesar sifat adesif, kekuatan dan kestabilan beton. Kedua silikat ini menunjukkan sifat yang mirip setelah hidrasi seperti sifat fisik dan mekanik, meskipun hidrasi  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  lebih cepat. Dalam pabrik semen,  $\text{CaCO}_3$  digunakan sebagai sumber  $\text{CaO}$  melalui pemanasan dan sebagai sumber silika digunakan tanah lempung. Untuk

memproduksi semen putih diperlukan bahan baku yang memiliki kadar besi sangat rendah. Pasir putih/silika menjadi alternatif sebagai sumber silika tetapi memiliki beberapa kelemahan antara lain perlu energi tinggi untuk destruksi karena kestabilan kristal silika yang tinggi, tidak terbaharukan dan dapat merusak lingkungan. Oleh karena itu upaya untuk mendapatkan bahan baku alternatif yang lebih ramah lingkungan dan memenuhi persyaratan untuk produksi semen masih diperlukan.

Sejauh ini, kajian pemanfaatan abu sekam padi sebagai sumber silika pada pembuatan semen belum banyak dilakukan meskipun memiliki keuntungan seperti bahan terbaharukan dan tidak merusak lingkungan. Oleh karena kandungan silika yang tinggi dan kadar besi yang rendah diharapkan abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan baku pembuatan salah satu komponen semen.

Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan kajian analisis pemanfaatan abu sekam padi ini. Harsono (2002) menyatakan telah melakukan pembuatan silika amorf dari limbah sekam padi. Hasil analisis komposisi menunjukkan bahwa kandungan unsur silikon (Si) cukup dominan dalam sekam padi. Malawi (1996) telah melakukan penelitian tentang potensi abu sekam padi sebagai bahan *pozzolan* pada mortar semen. Ajiwe, *et al.*, (2000) melakukan penelitian tentang *study* awal pembuatan semen dari abu sekam padi. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa, semen telah sukses diproduksi dari sampah pertanian, abu sekam padi. Purwandari

(2006) melakukan penelitian tentang studi sifat fisis abu sekam padi hasil perlakuan dengan asam klorida sebagai bahan *pozzolan*.

Untuk semen Portland memiliki komponen terbesar berupa kalsium silikat, trikalsium silikat ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) dan beta dikalsium silikat ( $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ ). Semen Portland dibuat dengan mencampur substansi material yang mengandung kalsium dan silika pada temperatur antara 1450 sampai 1550 °C (Kurtis *et al.*, 2003). Sekam padi sebagai produk pertanian mengandung kurang lebih 20-25% silika. Material ini apabila dikeringkan dalam ladang padi akan menghasilkan partikel silika yang kecil, yang dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan kerusakan lingkungan (Rodrigues, 2003). Metode pemanfaatan abu sekam padi sebagai sumber material untuk sintesis  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  telah dilakukan. Proses hidrothermal dan sintesis  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  pada temperatur 700°C juga telah dilakukan. Penggantian parsial dari Ca oleh atom Ba sangat diperlukan untuk menstabilkan bentuk  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ .  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  mempunyai lima fase kristalin dan  $\beta$ -fase adalah yang sangat dominan (Rodrigues, 2003).

Priyosulistyo *et al.*, (1999) mengemukakan bahwa abu sekam padi yang diperoleh dari pembakaran sekam pada temperatur 500 °C dengan waktu 105 menit atau lebih akan memberikan kandungan silika amorf optimum sedikitnya 86%. Lebih lanjut dilaporkan bahwa pemakaian abu sekam padi sebesar 15% berat semen akan memberikan peningkatan kuat tekan beton sedikitnya 20%.

Tujuan utama penelitian ini adalah membuat dan mengkarakterisasi kalsium silikat sebagai komponen utama semen.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Bahan**

Sampel abu sekam padi diambil dari daerah Klaten, Jawa Tengah. Sekam padi dicuci dengan air yang diambil dari air PAM Yogyakarta. Untuk bahan sintesis aditif semen  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> digunakan CaO (Merck) dan BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (Merck.). Kertas saring biasa dan Whatman 42 (Merck) digunakan untuk penyaringan.

### **Alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tungku pembakaran (Carbolite S302RR), oven (Fischer Scientific), timbangan analitik (Mettler AE 160, Jerman). Untuk karakterisasi hasil digunakan spektrofotometer inframerah (Model FTIR 8301 PC Shimadzu, Jepang), difraktometer sinar-X (Shimadzu XRD 6000). Sebagai alat pendukung digunakan lumpang dan mortar, ayakan 200 *mesh*, cawan porselen, alat-alat gelas (erlenmeyer, beker gelas, pipet volume, pro pipet, labu takar, dan gelas arloji) dan peralatan plastik (keranjang plastik, gelas, sendok, corong, ember plastik dan gelas plastik).

### **Prosedur Penelitian**

Sekam padi dibersihkan dari batu, tanah dan kotoran lainnya. Sekam padi yang sudah bersih kemudian dicuci dengan air, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari. Sekam padi bersih dan kering dibakar menggunakan nyala api dengan bantuan bahan bakar spiritus sehingga diperoleh arang sekam padi berwarna hitam. Arang kemudian diabukan pada variasi suhu 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C selama 4 jam dalam tungku pembakaran (Carbolite S302RR). Selanjutnya abu

sekam padi yang berwarna putih digerus dengan cawan porselin sampai halus dan diayak dengan ayakan berukuran 200 *mesh*, untuk dikarakterisasi tingkat kristalinitasnya dengan difraktometer sinar-X.

Sampel abu sekam padi yang bersuhu 700 °C dengan berat 5 g dicuci dengan 10 mL HCL 0.1 M dan dinetralkan dengan akuades. Hasil pencucian dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C sampai berat konstan. Kemudian hasil dianalisis dengan difraktometer sinar-X.

CaO sebanyak 5,37 g dipanaskan pada suhu 900 °C selama satu jam dalam tungku pembakaran (Carbolite S302RR). Selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas plastik yang kemudian ditambahkan BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O sebanyak 0,977 g. Dengan cara dan komposisi yang sama, disiapkan untuk enam gelas. Masing-masing sampel dari tahap pertama (lima sampel) dan kedua (satu sampel) dimasukkan dalam masing-masing gelas tersebut. Kemudian setiap gelas tersebut ditambahkan akuades hingga terbentuk suspensi dengan perbandingan air : padatan yaitu 20:1. Langkah berikutnya yaitu disonikasi selama 1 jam. Kemudian sampel dikeringkan pada suhu 60 °C dalam oven. Langkah selanjutnya sampel tersebut dipanaskan pada suhu 800 °C. Hasilnya dianalisis dengan difraktometer sinar-X dan FTIR.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

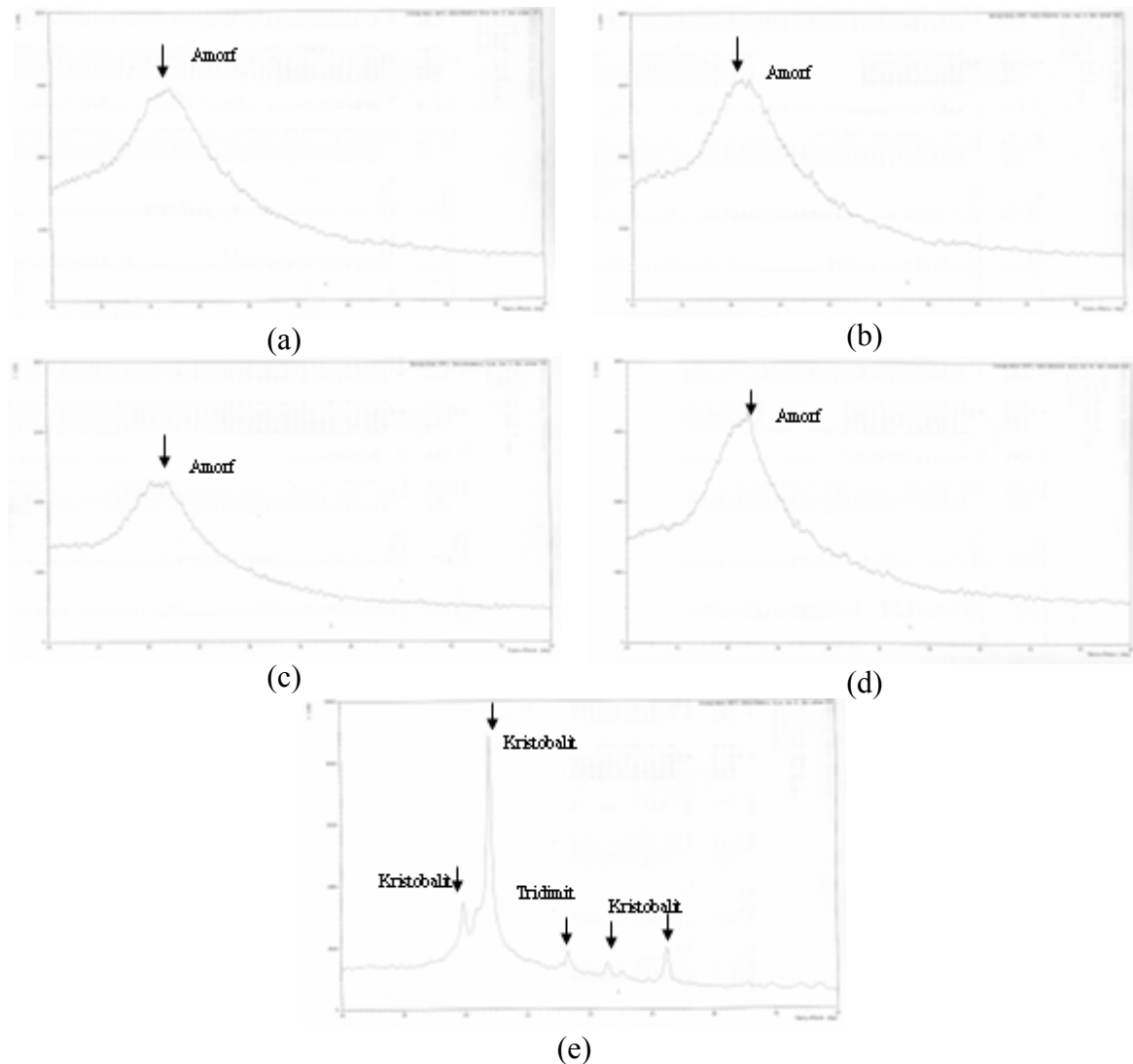
### **Analisis abu sekam padi**

Karakteristik abu sekam padi dilakukan dengan metode difraksi sinar-X untuk mengetahui tingkat kristalinitas abu. Karakterisasi dengan difraksi sinar-X dapat

memberikan informasi struktur kristal dalam abu sekam padi, kristalinitas silika dalam abu sekam tergantung pada temperatur dan lama pengabuannya. Menurut Azis (dalam Purwandari, 2006) silika yang ada dalam abu sekam padi mempunyai bentuk yang bermacam-macam tergantung pada temperatur dan lama pengabuan. Pengabuan pada temperatur tinggi akan menghasilkan silika berwarna merah muda dengan bentuk silika kristobalit dan tridimit serta sedikit sekali yang berbentuk kuarsa. Pengabuan pada temperatur rendah menghasilkan abu sekam berwarna kelabu dan berstruktur amorf. Della *et al.* (2002) juga menyatakan bahwa pengabuan pada variasi temperatur dan waktu merupakan faktor yang sangat penting untuk menghasilkan silika yang amorf atau kristalin.

Menurut Upe dalam Suwanti (2004) silika berada dalam 4 bentuk, yaitu amorf, tridimit, kristobalit, dan kuarsa. Dari keempat bentuk silika tersebut bentuk amorf adalah yang paling reaktif. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi terhadap abu sekam padi untuk mengetahui tingkat kristalinitasnya. Dalam penelitian ini dilakukan variasi temperatur pengabuan abu sekam padi yaitu 500, 600, 700, 800, 900 °C.

Pada gambar 1 disajikan hasil analisis difraksi sinar X untuk abu sekam padi hasil variasi temperatur.



**Gambar 1.** Pola difraksi sinar-X abu sekam padi suhu (a) 500 °C; (b) 600 °C; (c) 700 °C; (d) 800 °C dan (e) 800 °C

Dari gambar 1 dapat dilihat pola difraksi abu sekam padi dengan temperatur pengabuan 500, 600, dan 700 °C menunjukkan puncak yang melebar. Abu sekam padi pada suhu 500 °C mempunyai intensitas maksimum pada  $2\theta = 21,52 - 22,16^\circ$  ( $d = 4,12-4,00$ ), pada suhu 600 °C mempunyai intensitas maksimum pada  $2\theta = 20,66-21,92^\circ$  ( $d = 4,29-4,05$ ), pada suhu 700 °C mempunyai intensitas maksimum pada  $2\theta$



=  $20,26 - 21,7^\circ$  ( $d = 4,37-4,09$ ). Pelebaran puncak tersebut di atas menunjukkan bahwa abu sekam padi dengan temperatur pengabuan 500, 600, dan 700 °C yang diperoleh mempunyai derajat kristalinitas yang rendah.

Pada suhu 800 °C juga mempunyai kristalinitas yang rendah yang ditunjukkan oleh adanya dua puncak tajam dengan intensitas rendah pada harga  $2\theta = 20,86^\circ$  ( $d = 4,25$ ) dan  $2\theta = 21,92^\circ$  ( $d = 4,05$ ).

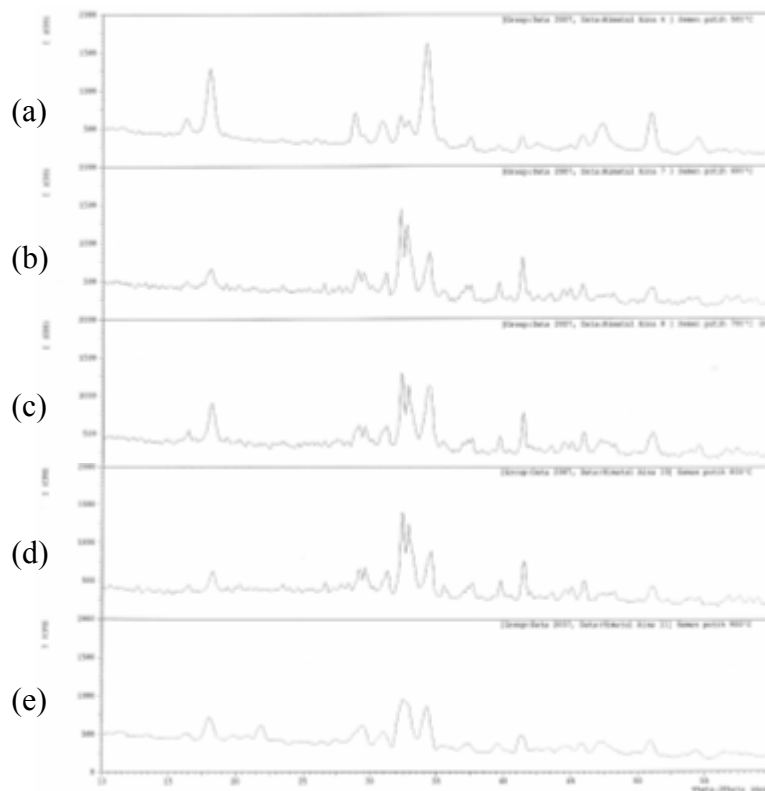
Pada suhu 900 °C menunjukkan adanya satu puncak yang tajam dengan intensitas lebih tinggi pada harga  $2\theta = 21,96^\circ$  ( $d = 4,04$ ) dan fasa kristal pada daerah ini diidentifikasi sebagai kristobalit. Selain itu ada dua puncak dengan intensitas yang lebih rendah pada harga  $2\theta = 19,83; 31,42^\circ$  dan  $36,18^\circ$  ( $d = 4,47; 2,84$  dan  $2,48$ ) fasa kristal pada daerah ini juga diidentifikasi sebagai kristobalit. Pada harga  $2\theta = 28,22$  dan ( $d = 3,15$ ) ada pola yang menyerupai undukan (*hump*), fasa kristal pada daerah ini diidentifikasi sebagai tridimit.

Dari uraian tersebut ditunjukkan bahwa abu sekam padi dengan temperatur pengabuan 500, 600, 700, dan 800 °C akan dapat digunakan sebagai sumber silika untuk sintesis  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  karena mempunyai derajat kristalinitas yang rendah dan cenderung amorf.

### **Analisis produk $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ dari abu sekam padi**

Pada gambar 2 disajikan difraktogram  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  dari abu sekam padi. Pada gambar tersebut terlihat bahwa  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  dari abu sekam padi yang diabukan pada

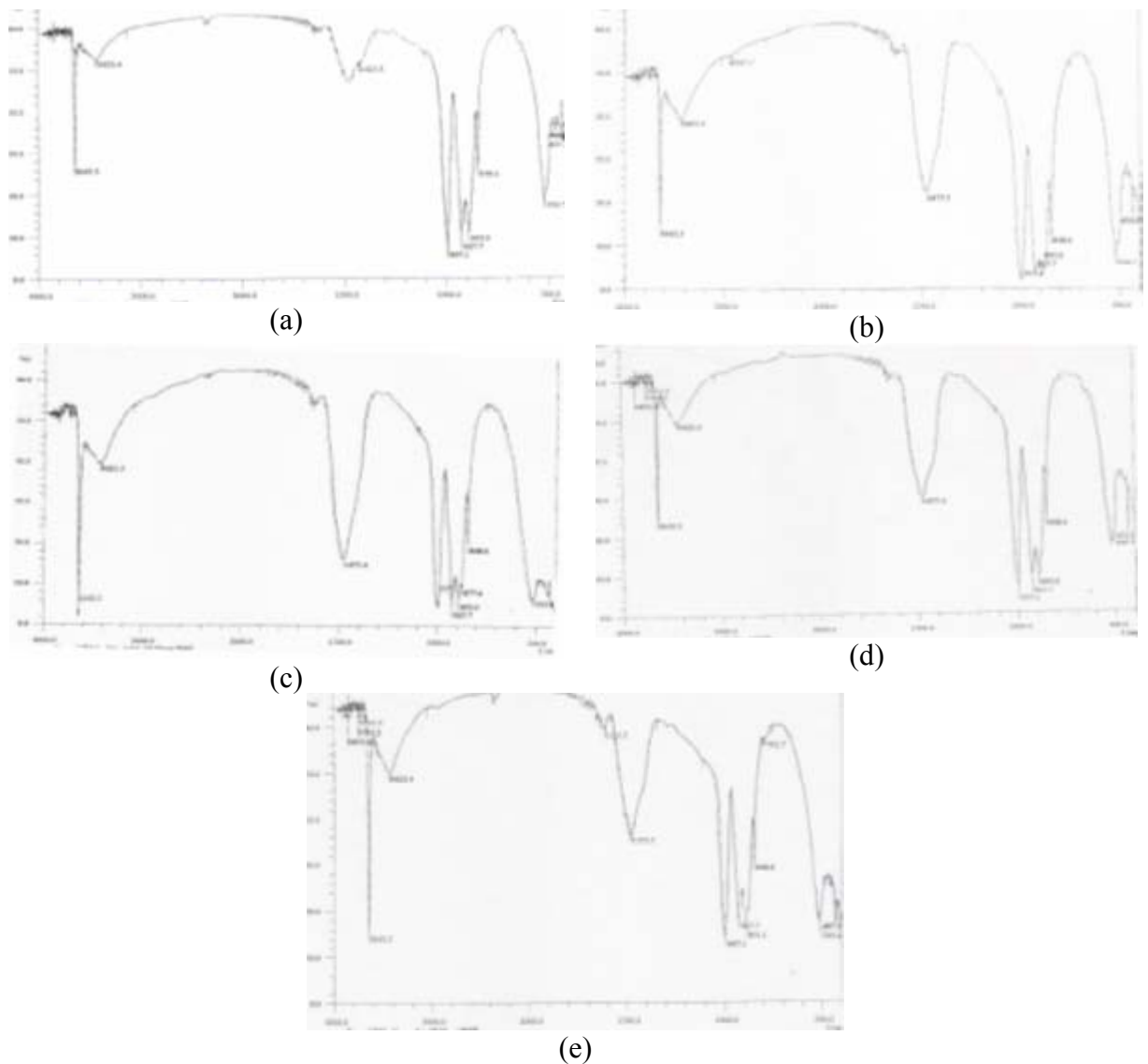
temperatur 600, 700, dan 800 °C cenderung mempunyai pola kristalinitas yang sama, yang ditunjukkan dengan pola-pola difraksi yang hampir sama, pada  $2\theta$  yang sama dengan intensitas yang cenderung sama. Pola difraksi untuk  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  dari abu sekam padi yang diabukan pada temperatur 600 °C, puncak-puncak tertinggi terdapat pada  $2\theta = 32,23; 32,74$  dan  $41,29^\circ$  ( $d = 2,77; 2,73$  dan  $2,18$ ), pada temperatur 700 °C puncak-puncak tertinggi terdapat pada  $2\theta = 32,30; 32,85$  dan  $34,31^\circ$  ( $d = 2,76; 2,72$  dan  $2,61$ ), pada temperatur 800 °C puncak-puncak tertinggi terdapat pada  $2\theta = 32,41; 32,93$  dan  $34,56^\circ$  ( $d = 2,76; 2,71$  dan  $2,59$ ).



**Gambar 2.** Pola difraksi sinar-X  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  dari bahan abu sekam padi hasil pengabuan pada temperatur (a) 500 °C; (b) 600 °C; (c) 700 °C; (d) 800 °C dan (e) 800 °C

Pola difraksi untuk  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dari abu sekam padi yang diabukan pada temperatur 500 °C puncak-puncak tertinggi pada  $2\theta = 18,02; 34,15$  dan  $50,87^\circ$  ( $d = 4,9; 2,6$  dan  $1,7$ ), pada temperatur 900 °C puncak-puncak tertinggi terdapat pada  $2\theta = 32,56; 34,20$  dan  $18,06$  ( $d = 2,74; 2,61$  dan  $4,90$ ). Apabila dibandingkan dengan pola difraksi dari  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dari abu sekam padi yang diabukan pada temperatur 600, 700, dan 800 °C, maka kuantitas puncak-puncak dari pola difraksi dari  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dari abu sekam padi yang diabukan pada temperatur 500 dan 900 °C tersebut cenderung berkurang. Hal ini menggambarkan bahwa kristalinitas  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dari abu sekam padi yang diabukan pada temperatur 600, 700, dan 800 °C lebih tinggi dibandingkan dengan kristalinitas  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dari abu sekam padi yang diabukan pada temperatur 500 dan 900 °C. Dari hasil pola difraksi untuk sekam padi yang diabukan pada suhu 500 °C menunjukkan struktur yang amorf, akan tetapi dihasilkan  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dengan kristalinitas yang rendah, hal ini kemungkinan disebabkan oleh kualitas dan waktu pengabuan yang kurang optimal. Begitu juga untuk sekam padi yang diabukan pada suhu 900 °C, dari pola difraksinya memang menunjukkan struktur kristalin sehingga akan menghasilkan  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> yang rendah.

Hasil analisis spektrofotometer IR untuk  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dengan sumber silika berasal dari abu sekam padi disajikan pada gambar 3.



**Gambar 3.** Spektra IR  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dari abu sekam padi yang diabukan pada suhu (a) 500 °C; (b) 600 °C; (c) 700 °C; (d) 800 °C dan (e) 800 °C

Pola serapan pada  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> dengan sumber silika berasal dari abu sekam padi yang diabukan pada suhu 500, 600, 700, 800 dan 900 °C. Pita serapan pada bilangan gelombang 522,7 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi bengkokan (*bending*) *out of plane*. Pada bilangan gelombang 848,6 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi rentangan (*stretching*) simetris dari Si-O-Si. Pita serapan pada 927,7 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi

rentangan Si-O dari silanol (Si-OH). Pita serapan pada  $997,1 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi rentangan asimetrik Si-O dari siloksan (Si-O-Si). Pada bilangan gelombang  $3421 \text{ cm}^{-1}$  memperlihatkan serapan vibrasi rentangan -OH dari silanol. Pada bilangan gelombang  $1475 \text{ cm}^{-1}$  muncul serapan dari vibrasi bengkokan (*bending*) OH silanol. Akan tetapi, semakin naik suhu pengabuan sekam padi yang digunakan sebagai sumber silika, maka intensitas dari gugus fungsional yang terdapat dalam produk tersebut cenderung semakin naik dan intensitasnya akan turun kembali setelah mengalami kondisi optimum. Dapat dilihat dalam spektra tersebut, pola serapan pada  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  dengan sumber silika berasal dari abu sekam padi yang diabukan pada suhu  $500, 600, 700 \text{ }^\circ\text{C}$  akan mengalami kenaikan intensitas gugus fungsional, tetapi pada suhu  $800$  dan  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  akan mengalami penurunan intensitas kembali.

## **KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa abu sekam padi yang diabukan pada temperatur  $500\text{-}800 \text{ }^\circ\text{C}$  dapat digunakan sebagai sumber silika untuk sintesis  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ .

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ajiwe, V.I.E., Okeke, C.A., dan Akigwe, F.C., 2000, A Preliminary Study of Manufacture Of Cement From Rice Husk Ash, *Bioresource Technology*, 73, 37-39.
- Della, V.P., Kuhn, I., dan Hotza, D., 2002, Rice Husk Ash as An Alternate Source for Active Silica Production. *Mat. Lett.*, 57, 818 – 821.
- Harsono, H., 2002, Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi, *Jurnal Ilmu Dasar*, 3(2), 98-103.

- Kurtis, K.E. dan Rodrigues, F.A., 2003, Early Age Hydration of Rice Hull Ash Cement Examined by Transmission Soft X-Ray Microscopy, *Cement and Concrete Research*, 33, 509 – 515.
- Malawi, R., 1996, *Potensi Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Sebagai Bahan Pozzolan Pada Mortar Semen*. Skripsi S-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Nugraha, S. dan Setiawati, J., 2006, *Peluang Bisnis Arang Sekam*, Balai Penelitian Pascapanen Pertanian, Jakarta.
- Prasetyani, D.H., 1994, *Sintesis Zeolit X dari Abu Sekam Padi*, Skripsi S-1, FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- Priyosulistyo, HRC., Sudarmoko, Bambang S., Bambang S., dan P. Sumardi, 1999, *Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi untuk meningkatkan Mutu Beton*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing VI/2 Perguruan Tinggi.
- Purwandari, R.D., 2006, *Studi Sifat Fisis Abu Sekam Padi Hasil Perlakuan dengan Asam Klorida Sebagai Bahan Pozzolan*, Tesis S-2, Program Studi Fisika, Kelompok Bidang Studi Ilmu Matematika dan Pengetahuan Alam, Sekolah Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.
- Rodrigues, F.A., 2003, Low-Temperatur Synthesis of Cements From Rice Hull Ash, *Cement and Concrete Research*, 2357, 1-5.
- Suwanti, V.C., 2004, *Penggunaan NaOH dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Pada Pembuatan Silika Gel dari Abu Sekam Padi*, Skripsi S-1, FMIPA, UGM, Yogyakarta.
- Taylor, H.F.W., 1964, *The Chemistry of Cement*, Department of Chemistry University of Aberdeen, Scotland, Academic Press, London and New York.