



SINTESIS DAN KARAKTERISASI BAHAN KERAMIK *CORDIERITE* DARI ABU SEKAM PADI

Gayuh Ganata Imam Sofyan ^{*}), Mohammad Alauhdin dan Eko Budi Susatyo

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

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

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Mei 2013
Disetujui Mei 2013
Dipublikasikan Agustus 2013

Kata kunci:
sintesis
keramik *cordierite*
abu sekam padi

Abstrak

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi bahan keramik *cordierite* dari abu sekam padi. Keramik *cordierite* adalah material zat padat dengan fase kristal $MgO-Al_2O_3-SiO_3$. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengetahui karakter bahan keramik *cordierite* yang dihasilkan. Penelitian dilakukan melalui 3 tahap, yaitu pembuatan silika gel dari sekam padi, pembuatan bahan keramik *cordierite* serta karakterisasi. Pembuatan silika dilakukan dengan pengabuan arang sekam padi pada suhu $700^{\circ}C$ selama 5 jam dan dengan penambahan HNO_3 4 M untuk pembentukan silika gel. Sintesis keramik dilakukan dengan perbandingan Mg, Al terhadap silika 1:4, 1:5 dan 1:6 dengan pengadukan dan pemanasan pada suhu $80^{\circ}C$ selanjutnya pengeringan pada suhu $100^{\circ}C$ dan kemudian dioven dengan suhu $200^{\circ}C$ selama 1 jam. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD, SEM dan FTIR. Dari karakterisasi XRD puncak difraksi *cordierite* terlihat pada posisi $2\theta = 29,4569$ dengan kristalinitas tertinggi pada perbandingan Mg-Al dan Silika gel 1:6. Data ini juga di perkuat dengan spektrum FTIR pada serapan antara $3500-4000\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya Mg-O-Al serta kemunculan gugus Al pada serapan $350-500\text{ cm}^{-1}$. Karakterisasi SEM menunjukkan terbentuknya *cluster-cluster* akibat dari sintering dan terpecah kembali akibat adanya peningkatan perbandingan Mg-Al dan Silika gel, sehingga terlihat homogen pada perbandingan 1:6.

Abstract

Have been made of materials synthesis and characterization of cordierite ceramics from rice husk ash. Cordierite ceramics is a solid material with a crystalline phase $MgO-Al_2O_3-SiO_3$. This study aims to create and determine the character of the resulting cordierite ceramic materials. The study was conducted through three stages, namely the manufacture of silica gel from rice husk, cordierite ceramics fabrication and characterization. Making silica done with rice husk charcoal incineration at $700^{\circ}C$ temperature for 5 hours, and with the addition of 4 M HNO_3 for the formation of silica gel. Synthesis of ceramics made by comparison of Mg, Al on silica 1:4, 1:5 and 1:6 with stirring and heating at a temperature of $80^{\circ}C$ subsequent drying at a temperature of $100^{\circ}C$ and then oven with a temperature of $200^{\circ}C$ for 1 hour. Characterization performed using XRD, SEM and FTIR. From the characterization of cordierite XRD diffraction peaks seen in the position $2\theta = 29.4569$ with the highest crystallinity ratio Mg-Al and silica gel 1:6. This data is also strengthened by the FTIR absorption spectra between $3500-4000\text{ cm}^{-1}$ indicating the presence of Mg-O-Al and the emergence of clusters of Al on the uptake $350-500\text{ cm}^{-1}$. SEM characterization showed the formation of the clusters resulting from sintering and split again due to the increasing ratio of Mg-Al and silica gel, so it looks homogeneous at 1:6 ratio.

© 2013 Universitas Negeri Semarang

Pendahuluan

Keramik *cordierite* adalah material zat padat dengan fase kristal $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. *cordierite* murni dibuat melalui reaksi antara oksida-oksida $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ pada temperatur 1450-1650°C. *Cordierite* merupakan jenis keramik oksida yang dibentuk dari tiga macam oksida yaitu MgO , Al_2O_3 dan SiO_2 dengan formula $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$. Mekanisme pembentukan *cordierite* melalui reaksi padatan oksida-oksida pada suhu tinggi sekitar 1100-1200°C (Charles; 2001).

Sumber bahan oksida-oksida pembentuk *cordierite* banyak dijumpai pada bahan-bahan alam di Indonesia, seperti misalnya: sumber MgO dapat diperoleh dari bahan magnesit MgCO_3 atau *dolomite*, sumber Al_2O_3 dapat diperoleh dari alumina atau *kaolinit*, sedangkan SiO_2 dapat diperoleh dari pasir silika. Deposit dari bahan-bahan alam tersebut cukup banyak tersedia di bumi Indonesia dan belum dimanfaatkan secara optimal.

Sintesis dan karakterisasi keramik *cordierite* dapat menggunakan bahan dasar silika mineral seperti *fumed silika*, *kaolinite*, maupun tetra ethyl ortho silicate (TEOS), dengan beberapa teknik diantaranya, teknik reaksi padatan (*solid-state reaction*), teknik sol-gel, teknik *melting* seperti dikemukakan oleh Kurama dan Kurama (2006); Kobayashi (2002); Kurama dan Ozel (2004).

Pada proses pembakaran sekam padi, senyawa-senyawa seperti hemiselulosa, selulosa dan lain-lain akan diubah menjadi CO_2 dan H_2O . Abu hasil pembakaran sekam padi yang pada hakikatnya hanyalah limbah, ternyata merupakan sumber silika yang cukup tinggi yaitu dengan kandungan silika sekitar 86,9% - 97,3% (Soenardjo; 1991). Selain itu hal menarik lainnya adalah bahwa 15% berat abu akan diperoleh dari total berat sekam padi yang dibakar jadi abu sekam padi menjadi silika yang dapat dipakai untuk mensintesis keramik *cordierite*.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari karakteristik fungsional, mikro struktur dan sifat fisis (*shrinkage*, densitas, porositas dan kekerasan) bahan keramik *cordierite* dengan memanfaatkan sekam padi sebagai sumber silika. Karakteristik fungsionalitas dianalisis dengan menggunakan *Fourier Transformed Infrared* (FT-IR), sedangkan karakteristik mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Selanjutnya dilakukan analisis sifat fisis

meliputi pengukuran *shrinkage*, porositas dan densitas.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Kimia Organik, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *magnetic stirrer* merk Cimers 2 Thermolyne, *oven* merk Memert, mortal dan alu, ayakan, cawan porselen, tungku penangas, *muffle furnace*, *autoclave* yang dilapisi teflon, pH meter, XRD merk Philips type X'Pert, SEM merk JSM-6360, dan FT-IR merk Shimadzu 8201 PC. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini semuanya mempunyai *grade pro analyst* meliputi asam sulfat, asam nitrat, natrium hidroksida, natrium karbonat, amonia, magnesium nitrat, aluminium nitrat buatan Merck. Abu sekam padi, kertas saring Whatman GF-42, aquades dan aquademin.

Pengabuan sekam padi dilakukan dengan cara sekam padi dibersihkan dari kotoran padat, kemudian dicuci dengan air dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Sekam padi yang telah kering, kemudian dilakukan pembakaran sampai terbentuk arang yang berwarna hitam. Arang sekam padi diabukan dalam tungku pemanas (*furnace*) pada temperatur 700°C selama 5 jam dengan cawan porselin. Abu digerus dan diayak dengan ukuran 150 mesh, kemudian abu sekam padi dicuci dengan larutan H_2SO_4 5% melalui pengadukan selama 30 menit, kemudian disaring dengan kertas Whatman GF-42 dan dibilas dengan aquades sampai netral (pH 7). Filtrat cucian yang netral diuji keberadaan kation pengotornya dengan cara membagi dua filtrat tersebut dan menambahkan masing-masing filtrat dengan natrium karbonat (untuk menguji adanya kation Ca^{2+} dan Mg^{2+}) serta menambahkan ammonia pekat (untuk menguji adanya kation Fe^{3+}). Abu sekam padi hasil cucian kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 100°C selama 2 jam dan hasilnya disebut ASP.

Pembuatan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) dilakukan dengan cara 20 gram ASP dicampurkan dengan 120 mL NaOH 1 M, kemudian direfluks selama 2 jam. Selanjutnya larutan di diamkan pada suhu kamar selama 24 jam, kemudian larutan yang terbentuk disaring dengan kertas Whatman GF-42. Residu dicuci dengan aquades hingga didapat residu yang tidak licin jika dipegang (Munayyiroh; 2006).

Pembuatan silika gel dilakukan dengan cara 60 mL larutan natrium silikat ditambahkan larutan asam nitrat 4 M, menggunakan pipet tetes sampai gel mulai terbentuk atau terjadi kondensasi larutan natrium silikat dengan larutan asam, kemudian dibiarkan selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan pengeringan pada temperatur 100°C selama 2 jam. Kemudian gel digerus dan diayak dengan ayakan 100 mesh (Munayyiroh; 2006).

Pembuatan silika gel dilakukan dengan cara 60 mL larutan natrium silikat ditambahkan larutan asam nitrat 4 M, menggunakan pipet tetes sampai gel mulai terbentuk atau terjadi kondensasi larutan natrium silikat dengan larutan asam, kemudian dibiarkan selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan pengeringan pada temperatur 100°C selama 2 jam. Kemudian gel digerus dan diayak dengan ayakan 100 mesh (Munayyiroh; 2006).

Hasil dan Pembahasan

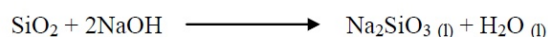
Pada preparasi abu sekam padi ini dapat dilakukan, sekam padi dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran terutama tanah liat, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari dilanjutkan dengan oven pengering pada suhu 100°C. Pengeringan dilakukan untuk mengeliminasi kandungan air dalam sekam dengan menguapkan air dari permukaan sekam. Ketika sekam mulai dikenai energi panas dari oven bersuhu 100°C laju pengeringan sangat cepat, hingga pada saat masih tersisa sejumlah kandungan air, laju pengeringan mulai menurun.

Untuk membuat abu sekam padi, terlebih dahulu dilakukan pembakaran sekam padi di atas api. Proses pembakaran merupakan proses karbonasi yang bertujuan untuk mengubah sekam padi menjadi arang sekam padi dan menghilangkan komponen-komponen organik seperti hemiselulosa, selulosa dan lain-lain. Komponen tersebut diubah menjadi karbondioksida dan H₂O yang ditandai dengan perubahan warna sekam padi menjadi hitam. Arang sekam padi yang terbentuk diabukan dalam tungku pemanas (*furnace*) pada suhu 700°C selama 5 jam. Abu yang diperoleh berupa abu yang berwarna putih, menunjukkan hidrokarbon telah teroksidasi secara sempurna menjadi CO₂ dan H₂O yang menguap sehingga yang tersisa adalah bahan anorganik terutama SiO₂ dan impuritas lainnya (Nuryono; 2006).

Pada preparasi silika gel dari abu sekam padi sebelum direfluks dapat dilakukan terlebih

dahulu dicuci dengan H₂SO₄ 5%. Pencucian dengan H₂SO₄ untuk menghilangkan oksida-oksida logam dan non logam dari dalam abu sekam padi, sebab H₂SO₄ akan mengikat oksida-oksida logam seperti CaO, Fe₂O₃ dan MgO menjadi senyawa sulfat dan oksida non logam, kecuali silika diubah menjadi asamnya (Nuryono; 2006). Untuk menguji adanya oksida logam yang larut dalam pencucian dengan H₂SO₄ maka filtrat cucian terakhir (pH netral) direaksikan dengan natrium karbonat untuk menguji adanya Mg²⁺ dan Ca²⁺ dan ammonia untuk menguji adanya Fe²⁺ (Vogel; 1990).

Natrium silikat diperoleh dari abu sekam padi sebagai sumber silika dengan cara mengekstrak abu sekam padi dengan menggunakan NaOH 1 M. Ekstraksi dilakukan dengan metode refluks selama 2 jam (Munayyiroh; 2006). Fungsi larutan NaOH adalah untuk melarutkan atau mereaksikan SiO₂ yang terdapat dalam abu sekam padi karena SiO₂ hanya larut dalam alkali hidroksida dan leburan-leburan karbonat (Handoyo; 1996). Ekstraksi silika gel dari abu sekam padi dengan larutan NaOH akan menghasilkan natrium silikat.

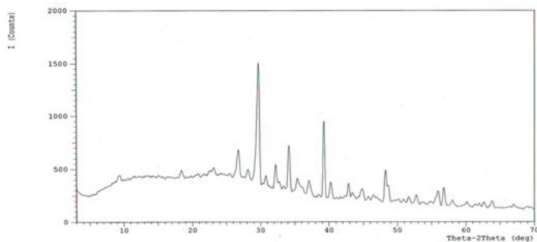


Reaksi pembentukan silika dari larutan natrium silikat dilakukan dengan menggunakan asam nitrat. Hal ini disebabkan jika kemungkinan dalam larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) masih ada pengotor (Mg, Ca dan Fe) diharapkan dalam pembentukan silika gel dengan penambahan asam nitrat tidak akan mengendapkan pengotor yang akan berpengaruh pada kemurnian silika gel hasil sintesis.

Silika akan membentuk gel pada pH di bawah 10 karena kelarutannya yang rendah, sehingga untuk mendapatkan silika gel dari natrium silikat maka pH sistem harus diturunkan (Isizhaki; 1998). Dalam penelitian ini pembentukan gel dilakukan pada pH 7 sebab pada kondisi mendekati netral konsentrasi gugus siloksi dan silanol terdeprotonasi seimbang dalam jumlah yang relatif banyak (Anggraeni; 2006).

Analisis silika gel dengan menggunakan XRD ini bertujuan untuk mengetahui struktur kristalin dari silika gel. Analisis kualitatif ini dilakukan dengan panjang gelombang 1,54060 Å. Kondisi operasi melibatkan radiasi Cu, *Step size* 0,0200 derajat, tegangan 40,0 kV dan arus

30,0 mA. Sampel discan dari daerah pengamatan antara 3,0000 - 70,0000 derajat. Data yang diperoleh berupa jarak antar bidang, intensitas dan besar sudut (2θ) yang kemudian dicocokkan dengan data pola difraksi sinar - X JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standard*) atau hasil penelitian lain yang telah dilakukan sehingga senyawa yang terdapat dalam sampel dapat diidentifikasi, difraktogram disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Difraktogram sinar-x silika gel hasil sintesis

Pola difraksi untuk silika gel menunjukkan puncak yang melebar dengan pusat puncak $2\theta = 29,6261$. Menurut Kalaphaty (2000) bentuk puncak yang lebar dengan pusat puncak disekitar $2\theta = 22$ menunjukkan bahwa silika bersifat amorf. Dalam silika amorf penyusunan atom terjadi secara acak atau dengan derajat keteraturan yang rendah.

Pada difraktogram untuk silika muncul puncak tajam pada $2\theta = 29,6261$; $2\theta = 39,2260$, dan $2\theta = 34,1332$. Puncak tajam pada $2\theta = 29,6261$ menunjukkan bahwa silika gel mengandung senyawa SiO_2 dalam bentuk mineral *kristobalit*. Dari pola difraktogram yang telah diperoleh meskipun di dalam silika gel terbentuk fasa kristalin tetapi fasa amorf lebih banyak. Hal tersebut ditunjukkan dengan terbentuknya puncak yang tidak terlalu tajam dengan intensitas yang relatif rendah. Sehingga dapat diketahui bahwa silika gel memiliki fasa campuran yaitu antara fasa kristalin dan fasa amorf dengan fasa amorf yang lebih banyak. Silika dalam fasa amorf lebih mudah larut jika dibandingkan dengan fasa kristalin (Barrer; 1982). Puncak tajam silika gel $2\theta = 29,6261$ dibandingkan dengan JCPDS nomor 83-1833 ternyata hampir sama.

Pembuatan bahan keramik *cordierite* dapat digunakan dengan bahan dasar $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan silika gel dengan perbandingan 1:4, 1:5 dan 1:6.

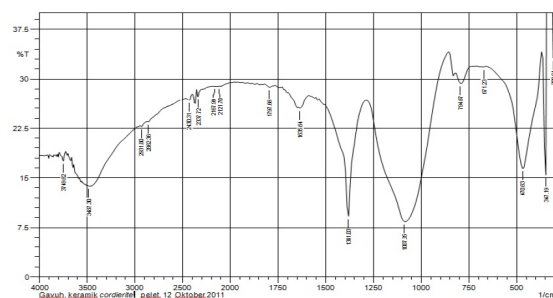
Karakterisasi mikrostruktur bahan keramik *cordierite* hasil sintesis dilakukan menggunakan XRD, FT-IR dan SEM untuk karakterisasi

gugus fungsional dan perubahan mikrostruktur. Karakterisasi bahan fisis keramik *cordierite* meliputi shrinkage, porositas dan densitas.

Campuran $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan 1:1 melalui pemanasan dan pengadukan pada media air bebas ion dan penambahan NH_3 dan pengadukan bertujuan untuk menghomogenkan larutan yang terbentuk, sedangkan penambahan NH_3 bertujuan sebagai pembentuk gel di dapatkan residu berwarna putih.

Komponen Mg-Al dan silika gel dengan perbandingan 1:4, 1:5 dan 1:6. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 80°C dan di stirrer. Terbentuk larutan berwarna bening jernih setelah beberapa waktu pemanasan, larutan mengeras membentuk gel transparan. Selanjutnya gel dipanaskan dan di oven pada suhu 200°C selama 1 jam. Didapatkan serbuk putih yang selanjutnya di karakterisasi.

Karakterisasi gugus fungsi bahan keramik *cordierite* dengan spektroskopi FT-IR merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam suatu molekul. Pada penelitian ini, spektroskopi FT-IR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada sampel *cordierite* yang dihasilkan sampel dianalisis dengan FT-IR pada bilangan gelombang antara $500-4000\text{ cm}^{-1}$ yang disajikan pada Gambar 2. Hasil analisis mengindikasikan beberapa gugus fungsi silika atau gugus fungsi pembentukan *cordierite*. Secara lebih terperinci hasil identifikasi gugus fungsi untuk semua sampel *cordierite* dapat dilihat pada Gambar 2.

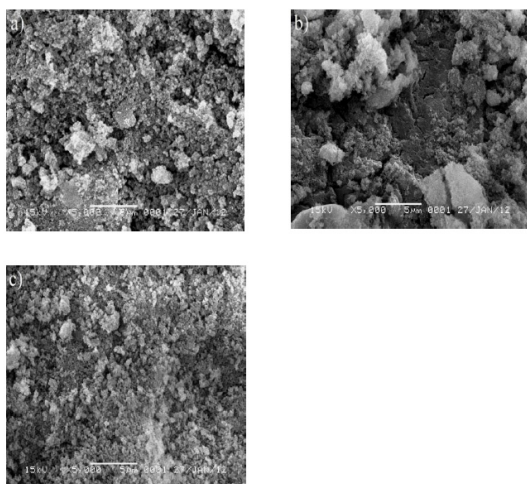


Gambar 2. Spektra infra merah keramik *cordierite*

Munculnya pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 1600 cm^{-1} yang disebabkan oleh adanya gugus silanol yang ditandai dengan $-\text{OH}$ dari Si-OH . Keberadaan gugus siloksan ditunjukkan oleh munculnya pita serapan pada bilangan gelombang sekitar $1000-1110\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan Si-O dari Si-O-Si , sedangkan Mg-

O-Al tampak pada daerah 500 cm^{-1} . Adanya gugus tersebut diperkuat oleh munculnya pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 2400 cm^{-1} yang disebabkan adanya gugus NaOH yang ditandai dengan adanya Na-OH. Munculnya pita serapan pada bilangan gelombang sekitar $2000\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan C-O. Daerah serapan antara $350\text{-}310\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus Al yang mengakibatkan oleh Al_2O_3 .

Adanya serapan pada $1381,03\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan bahwa adanya ikatan C-H dari pengotor senyawa organik. Munculnya pengotor organik ini disebabkan pengabuan yang kurang sempurna sehingga senyawa-senyawa organik belum semuanya menjadi CO_2 dan H_2O . Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil keramik *cordierite* juga memiliki fungsional.



Gambar 3. Mikrostruktur bahan keramik *cordierite* SEM pada suhu oven 200°C dengan perbandingan a) 1:4, b) 1:5 dan c) 1:6

Karakteristik mikrostruktur bahan keramik *cordierite* dengan SEM dioven pada suhu 200°C ditunjukkan pada Gambar 3. Morfologi permukaan sampel bahan keramik *cordierite*, pada perbandingan 1:4 menunjukkan bahwa permukaan kelihatan tidak homogen dan memiliki pori, terdiri dari butiran-butiran kecil (*granular*), membentuk gumpalan (*cluster*), kasar (*rough*) dengan ukuran dan bentuk partikel yang berbeda, serta terdistribusi tidak merata. Pada perbandingan 1:5 menunjukkan terjadinya proses sintering yang mengakibatkan penggabungan beberapa partikel sehingga terlihat seperti *cluster-cluster* yang tidak merata. *Cluster-cluster* tersebut akan terpecah kembali dengan pemanasan atau penambahan konsentrasi silika gel yang menunjukkan kehomogenan ukuran dan bentuk partikel.

Hasil pengukuran densitas dari keramik

cordierite yang telah dioven pada suhu 200°C menunjukkan bahwa suhu oven terjadi oleh karena ikatan partikel-partikel dan berlangsungnya proses densifikasi. Nilai densitas yang diperoleh antara $0,98\text{-}0,85\text{ g/cm}^3$.

Hasil pengukuran porositas dari keramik *cordierite* yang telah dioven pada suhu 200°C menunjukkan bahwa suhu oven terjadinya densifikasi dan eliminasi pori sepanjang batas butir, sehingga peran dari silika gel sebagai aditif untuk menghasilkan pori tanpa mengurangi sifat-sifat keramik *cordierite* awalnya sudah berlangsung. Nilai porositas yang diperoleh antara $60,37\text{-}62,20\%$.

Hasil pengujian terhadap *shrinkage* yang telah dilakukan terlihat bahwa silika gel yang ditambahkan ke dalam sampel bahan keramik *cordierite* maka *shrinkage* cenderung semakin meningkat. Hal ini dapat disebabkan karena setiap bahan keramik *cordierite* yang telah mengalami proses oven akan mengalami penyusutan. Terjadinya penyusutan disebabkan karena hilangnya kandungan air melalui reaksi dehidrasi dan terurainya zat-zat yang mudah terbakar melalui reaksi disosiasi.

Simpulan

Bahan keramik *cordierite* dari silika gel abu sekam padi dapat disintesis dengan asam nitrat dan waktu reaksi 2 jam merupakan waktu optimum untuk pembuatan silika gel dengan konsentrasi HNO_3 4 M. Difraktogram sinar-x menunjukkan bahwa struktur silika gel berbentuk amorf, spektrogram FT-IR menunjukkan adanya gugus silanol dalam bahan keramik *cordierite*, karakterisasi mikrostruktur bahan keramik *cordierite* dengan SEM menunjukkan adanya permukaan tidak homogen dan memiliki pori. Hasil pengukuran densitas menunjukkan bahwa pada suhu 200°C terjadi ikatan partikel-partikel dan berlangsungnya proses densifikasi. Hasil pengukuran porositas menunjukkan bahwa pada suhu 200°C terjadi densifikasi dan eliminasi pori sepanjang batas butir, sehingga peran dari silika gel sebagai aditif untuk menghasilkan pori tanpa mengurangi sifat-sifat keramik *cordierite* awalnya sudah berlangsung.

Daftar Pustaka

- Barrer, R.M. 1982. Hidrothermal Chemistry of Zeolit. London: Academic Press
- Charles, A.H. 2001. Handbook of Ceramic glasses, and Diamonds. Mc Graw Hills Company Inc. USA
- Handoyo, K. 1996. Kimia Anorganik. Yogyakarta: Gadjah Mada University

- Press
- Kurama, S and Kurama, H. 2006. "The Reaction Kinetics of Rice Husk Based Cordierite Ceramic". *Ceramic International*. 1-4
- Kurama, S and Ozel, N. 2004. "Synthesis and Sintering of Cordierite at Low Temperature from Kaolinite and Magnesium hydroxide". *Key Engineering Materials*. 925-928
- Kobayashi, Y. Sumi, K. Kato, E. 2002. "Preparation of Dense Cordierite Ceramic from Magnesium Compounds and Kaolinite Without Additive". *Ceramic International*. 26. 739-743
- Nuryono, 2006. Pembuatan dan Karakteristik Silika Gel Dari Abu Sekam Padi dengan Asam Sitrat dan Asam Klorida. Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. Jurusan Kimia FMIPA UNNES. Semarang
- Munayyiroh, S. 2006. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Limbah Abu Sekam Padi. Tugas Akhir 2. Jurusan Kimia FMIPA-UNNES
- Vogel. 1990. Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Edisi Kelima. Jakarta: Kalman Media Pustaka