

Pengaruh Massa Magnesium Oksida (MgO) dan Alumina (Al₂O₃) Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung

Lukman Palum Hasiyanto Cibro*, Mora

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 03 Januari 2020
Direvisi: 10 Januari 2020
Diterima: 17 Januari 2020

Kata kunci:

keramik *cordierite*
MgO
Al₂O₃
abu vulkanik

Keywords:

cordierite ceramics
MgO
Al₂O₃
volcanic ash

Penulis Korespondensi:

Lukman Palum Hasiyanto Cibro
Email:
cibrolukman28@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh massa magnesium oksida (MgO) dan alumina (Al₂O₃) terhadap karakteristik keramik *cordierite* dari abu vulkanik gunung sinabung. Karakteristik yang diuji meliputi susut bakar, porositas, densitas, kekerasan, struktur fasa, ukuran kristal dan fasa apa yang terbentuk selama proses pembuatan sampel. Pembuatan silika diekstraksi dari abu vulkanik dengan metode sol-gel yang direaksikan dengan NaOH 4 M dan dengan penambahan HCl 8 M untuk pembuatan silika gel. Keramik *cordierite* disintesis dengan metode *solid state* dengan perbandingan 14% massa MgO : 35% massa Al₂O₃ dan 51% massa SiO₂. Selanjutnya serbuk keramik kordierit tersebut dicampur dengan masing-masing 0%, 10% dan 15% massa MgO dan Al₂O₃. Pengujian yang dilakukan meliputi uji sifat fisis (susut bakar, porositas dan densitas) dan uji kekerasan menggunakan *Vickers Tester*, serta karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk menentukan ukuran kristal dan struktur fasa yang terbentuk. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, bahwa pada penambahan massa 10% (MgO & Al₂O₃) didapatkan nilai susut bakar, densitas dan kekerasan semakin menurun sementara porositas semakin meningkat. Namun seiring dengan penambahan massa 15% (MgO & Al₂O₃) nilai susut bakar, densitas dan kekerasan semakin meningkat sementara porositas semakin menurun. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa struktur fasa yang terbentuk pada sampel penambahan 0% (MgO & Al₂O₃), 10% (MgO & Al₂O₃) dan 15% (MgO & Al₂O₃) adalah *cordierite* dan *albite*.

Research on the effect of the mass of magnesium oxide (MgO) and alumina (Al₂O₃) on the characteristics of cordierite ceramics from volcanic ash of Mt. Sinabung. The characteristics tested include burn losses, porosity, density, hardness, phase structure, crystal size and what phases are formed during the sample making process. The making of silica was extracted from volcanic ash by the sol-gel method which was reacted with 4 M NaOH and with the addition of 8 M HCl for the making of silica gel. Cordierite ceramics were synthesized by the solid state method with a ratio of 14% MgO mass: 35% mass Al₂O₃ and 51% mass SiO₂. Then the cordierite ceramic powder is mixed with 0%, 10% and 15% mass of MgO and Al₂O₃ respectively. Tests carried out include tests of physical properties (burn losses, porosity and density) and hardness tests using Vickers Tester, and characterization is carried out using X-Ray Diffraction (XRD) to determine the size of the crystals and the structure of the phase formed. Based on the results of tests carried out, that with the addition of a mass of 10% (MgO & Al₂O₃), the value of burn losses, density and hardness decreases while porosity increases. But along with the addition of a mass of 15% (MgO & Al₂O₃) the value of burn losses, density and hardness are increasing while porosity decreases. The XRD characterization results showed that the phase structure formed in the addition of 0% samples (MgO & Al₂O₃), 10% (MgO & Al₂O₃) and 15% (MgO & Al₂O₃) were cordierite and albite.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Keramik kordierit merupakan salah satu jenis keramik refraktori dengan material pembentuknya adalah magnesium oksida (MgO), aluminium oksida (Al₂O₃), dan silika (SiO₂) dengan rumus kimia 2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂ atau Mg₂Al₄Si₅O₁₈ (Kingery dkk., 1976). Beberapa metode yang digunakan untuk sintesis keramik kordierit, antara lain metode reaksi *solid state* (padatan) dan *sol gel*. Kordierit tidak tersedia di alam, tetapi dapat disintesis dengan mencampurkan bahan-bahan yang mengandung MgO, Al₂O₃ dan SiO₂. Umumnya silika (SiO₂) yang digunakan adalah silika komersial yang relatif mahal. Oleh karena itu, banyak penelitian menggunakan bahan-bahan alternatif untuk menggantikan silika, seperti pasir kuarsa (Fairus dkk., 2009), abu batu bara (Kumalasari, 2011) dan abu sekam padi (Sofyan dkk., 2013).

Pada penelitian ini silika yang akan digunakan adalah silika berbasis abu vulkanik gunung sinabung. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Barasa dkk., (2013), hasil analisis abu vulkanik Sinabung mengandung unsur Silikat (SiO₂) berkisar 74,47%. Keberadaan abu vulkanik hasil erupsi gunung sinabung yang sangat besar dibandingkan dengan gunung berapi lainnya merupakan hal yang cukup potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan keramik kordierit berbasis silika. Magnesium Oksida (MgO) merupakan logam oksida padatan putih dengan nama *periclase*.

MgO dapat digunakan untuk keperluan keramik *refraktori* karena memiliki titik lebur yang tinggi (Kramer, 2000). Amalia, dkk (2017) melakukan penelitian pembuatan keramik kordierit dengan penambahan MgO (0, 10 dan 15%) disintering pada suhu 1250°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan persentase MgO maka nilai densitas semakin menurun. Nilai porositas yang dihasilkan dari sampel semakin tinggi dengan penambahan MgO. Sedangkan, Menurut Li, dkk (2015) penambahan MgO pada keramik kordierit tidak mengurangi temperatur kristalisasi tetapi dapat memudahkan pembentukan keramik kordierit. Akan tetapi, saat peningkatan MgO terlalu banyak, mengakibatkan fasa *spinel* meningkat seiring dengan peningkatan peningkatan fasa *cordierite*. Selanjutnya, menurut Tamalia, dkk (2017), penambahan alumina (Al₂O₃) pada keramik kordierit terjadi pengurangan massa keramik kordierit. Akan tetapi, nilai kekerasan yang didapatkan semakin meningkat. Hal ini tentunya sangat dibutuhkan dalam pembuatan keramik kordierit yang ringan, kuat dan stabil bila dipanasi hingga suhu 1000°C.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan MgO dan Al₂O₃ terhadap karakteristik pembentukan struktur fasa, ukuran kristal dan sifat fisis serta kekerasan keramik kordierit. *Cordierite* disintesis dengan campuran bahan bahan dasar MgO, Al₂O₃ dan silika berbasis abu vulkanik dengan metode *solid state* dan disintering pada suhu 1000°C. Untuk mengetahui karakteristik struktur fasa *cordierite* digunakan difraksi sinar-X (XRD) sedangkan kekerasan menggunakan *Vickers Tester*. Di samping itu, dilakukan pula analisis sifat fisis *cordierite* meliputi pengukuran susut bakar, densitas dan porositas.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam perancangan ini meliputi Lumpang-alu, neraca digital, ayakan, cetakan, *oven*, jangka sorong, gelas kimia, *aluminium foil*, kertas saring, *magnetic stirrer*, *hot packing press*, *furnace*, XRD, PH-Fix 0-14, *vickers tester*, cawan keramik, abu vulkanik, MgO, Al₂O₃, *aquades*, NaOH, HCl dan alkohol 70%.

2.2 Ekstraksi Silika

Ekstraksi silika dilakukan dengan mempersiapkan abu vulkanik yang diperoleh dari Gunung Sinabung Kab. Karo, Sumatera Utara. Selanjutnya, dilakukan pengayakan dengan ayakan 100 mesh. Sebanyak 5 gram abu vulkanik dilarutkan dengan 60 ml NaOH 4M Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 100°C selama 120 menit untuk mendapatkan silika sol. Selanjutnya ditambah dengan *aquades* sebanyak 250 ml, dan terbentuk larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) yang nantinya sebagai prekursor silika. Larutan natrium silikat dimasukkan kedalam gelas kimia. Kemudian ditetesi dengan HCl 8 M hingga pH 7 sambil *distirrer* pada suhu 100°C untuk mendapatkan silika gel berwarna putih. Larutan didiamkan hingga partikel-partikel berwarna putih tersebut mengendap. Gel

yang didapat dinetralkan dengan menggunakan *aquades* 300 ml sebanyak 3 kali. Setelah itu endapan putih yang terbentuk tersebut diambil menggunakan kertas saring. Endapan putih yang telah didapatkan kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 2 jam agar didapatkan gel berbentuk serbuk. Lalu digerus menggunakan lumpang dan alu hingga halus untuk mendapatkan serbuk silika.

2.3 Pembuatan Sampel Keramik Kordierit

Bahan-bahan penyusun MgO, Al₂O₃ dan SiO₂ ditimbang dan dicampur dengan perbandingan massa 14%:35%:51%. Bubuk kordierit kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar ukuran butir kordierit menjadi homogen. Masing-masing bubuk kordierit yang telah diayak ditambahkan alkohol 70% sebanyak 60 ml kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 120 rpm selama 4 jam. Larutan yang telah distirrer kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan cairan alkohol dari paduan kordierit. Larutan yang telah disaring kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 2 jam dan digerus sampai halus. Penambahan MgO dan Al₂O₃ pada penelitian ini adalah 0, 10, dan 15 % dari massa keramik kordierit. Paduan yang telah kering digerus dan disaring dengan ayakan 100 mesh agar diperoleh bubuk kordierit yang homogen. Bubuk hasil ayakan tersebut langsung dituang dalam cetakan pelet yang terbuat dari *stainless steel* lalu dicetak menggunakan alat press dengan beban 5 ton untuk menghasilkan pelet. Pelet ditata didalam cawan tahan panas dari bahan kuarsa kemudian dimasukkan kedalam tungku *furnace*. Pembakaran pelet untuk proses sintering dilakukan pada suhu 1000°C dengan kenaikan suhu 5°C/menit. Setelah mencapai suhu 1000°C dilakukan penahanan selama 3 jam.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Susut Bakar

Nilai susut bakar keramik kordierit untuk seluruh sampel setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan didapatkan data seperti Tabel 1. Nilai susut bakar tertinggi diperoleh pada Sampel C yaitu dengan susut bakar sebesar 16.85% dan nilai susut bakar terendah diperoleh pada Sampel B yaitu dengan nilai susut bakar sebesar 10.78%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keramik kordierit pada penambahan 0% (MgO & Al₂O₃) mengalami penyusutan sebesar 11,85%. Sedangkan untuk kordierit dengan penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) mengalami penyusutan sebesar 10,78%. Menurunnya nilai penyusutan disebabkan karena ukuran butir kristalnya yang besar dan juga belum menyatu dengan baik atau tidak homogen yang menyebabkan pori-pori semakin besar, sehingga terdapat lebih sedikit pori-pori. Semakin sedikit pori-pori yang terdapat maka kandungan air yang menyelimuti butir-butir kordierit tersebut juga semakin sedikit, sehingga semakin kecil penyusutan yang terjadi. Namun, seiring dengan penambahan 15% (MgO & Al₂O₃) nilai susut bakar keramik kordierit mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena ukuran butirnya mengalami penurunan yang menyebabkan pori-pori semakin kecil, sehingga terdapat lebih banyak pori-pori. Hal ini sesuai dengan penelitian Amalia, dkk (2017), bahwa semakin banyak pori-pori yang terdapat maka kandungan air yang menyelimuti butir-butir kordierit tersebut juga semakin banyak, sehingga semakin besar penyusutan yang terjadi.

Tabel 1 Susut bakar keramik kordierit

Sampel	Massa sebelum sintering (g)	Massa setelah sintering (g)	Susut Bakar (%)
A	1,94	1,71	11,85
B	2,41	2,15	10,78
C	2,61	2,17	16,85

3.2 Porositas

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan maka didapatkan nilai porositas keramik kordierit yang dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai porositas minimum diperoleh pada keramik kordierit pada penambahan 0% (MgO & Al₂O₃) yaitu sebesar 25,04% dan nilai porositas maksimum diperoleh pada keramik kordierit dengan penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) yaitu sebesar 31,25%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keramik kordierit pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) porositas keramik kordierit mengalami peningkatan dibandingkan dengan keramik kordierit pada penambahan

0% (MgO & Al₂O₃). Hal ini disebabkan karena ukuran butir kristalnya yang besar dan juga belum menyatu dengan baik atau tidak homogen sehingga pori-pori menjadi lebih besar. Nilai porositas yang semakin besar juga disebabkan karena nilai kekerasan sampel pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan penelitian Amalia, dkk (2017), bahwa semakin menurun nilai kekerasan keramik kordierit maka kerapatan pori akan semakin besar. Sedangkan porositas keramik kordierit setelah dilakukan penambahan 15% (MgO & Al₂O₃) mengalami sedikit penurunan. Hal ini disebabkan karena ukuran butir kristalnya mengalami penurunan dan menyatu dengan baik yang menyebabkan pori-pori semakin kecil, sehingga memiliki karakteristik yang lebih padat.

Tabel 2 Porositas keramik kordierit

Sampel	Setelah sintering	Setelah direndam	Volume setelah sintering (cm ³)	Porositas (%)
	Massa (g)	Massa (g)		
A	1,71	1,98	1,078	25,04
B	2,15	2,64	1,568	31,25
C	2,17	2,58	1,446	28,35

3.3 Densitas

Nilai densitas tertinggi diperoleh pada keramik kordierit dengan penambahan 0% (MgO & Al₂O₃) yaitu dengan nilai densitas sebesar 1.586 gr/cm³ dan densitas terendah pada keramik kordierit dengan penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) yaitu dengan nilai densitas sebesar 1.371 gr/cm³. Nilai densitas keramik kordierit pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) mengalami penurunan dibandingkan dengan keramik kordierit pada penambahan 0% (MgO & Al₂O₃). Hal ini disebabkan karena sampel keramik kordierit pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) memiliki nilai porositas yang besar dan ukuran butir yang besar. Nilai densitas yang semakin menurun juga disebabkan karena nilai sampel kordierit memiliki kekerasan yang semakin menurun. Sedangkan nilai densitas keramik kordierit dengan penambahan 15% (MgO & Al₂O₃) mengalami sedikit peningkatan dibandingkan dengan keramik kordierit pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃). Hal tersebut disebabkan karena nilai porositasnya mengalami penurunan. Hubungan antara porositas dengan densitas keramik kordierit, yaitu nilai densitas berbanding terbalik dengan nilai porositas. Semakin meningkat nilai porositas keramik kordierit maka nilai densitas keramik kordierit akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian densitas dan porositas pada penelitian ini.

Tabel 3 Densitas keramik kordierit

Sampel	Massa (g)	Diameter (mm)	Ketebalan (mm)	Volume setelah sintering (cm ³)	Densitas (g/cm ³)
A	1,71	12,12	8,54	1,078	1,586
B	2,15	12,49	12,81	1,568	1,371
C	2,17	12,47	11,85	1,446	1,500

3.4 Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan didapatkan data yang dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan keramik kordierit pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) mengalami penurunan dibandingkan dengan keramik kordierit tanpa penambahan MgO dan Al₂O₃. Hal ini sesuai dengan penelitian Tamalia, dkk (2017), bahwa Penurunan kekerasan disebabkan karena sampel pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) memiliki ukuran butir kristal dan nilai porositasnya lebih besar, sehingga ikatan butir satu dengan yang lainnya menjadi kurang kuat.

Penurunan kekerasan juga disebabkan karena berkurangnya fasa *cordierite* serta munculnya fasa lain yaitu *albite* (Na (AlSi₃O₈)) sehingga menyebabkan ukuran butir yang tidak homogen. Namun pada penambahan 15% (MgO & Al₂O₃) nilai kekerasan keramik kordierit kembali meningkat, karena ukuran butirnya lebih kecil dibandingkan dengan sampel B sehingga pori-pori menjadi lebih kecil dan memiliki karakteristik yang lebih padat. Hal ini disebabkan karena reaksi antara Al₂O₃ dengan SiO₂ mulai berkurang sehingga fasa *albite* (Na (AlSi₃O₈)) juga mulai berkurang. Nilai uji fisis

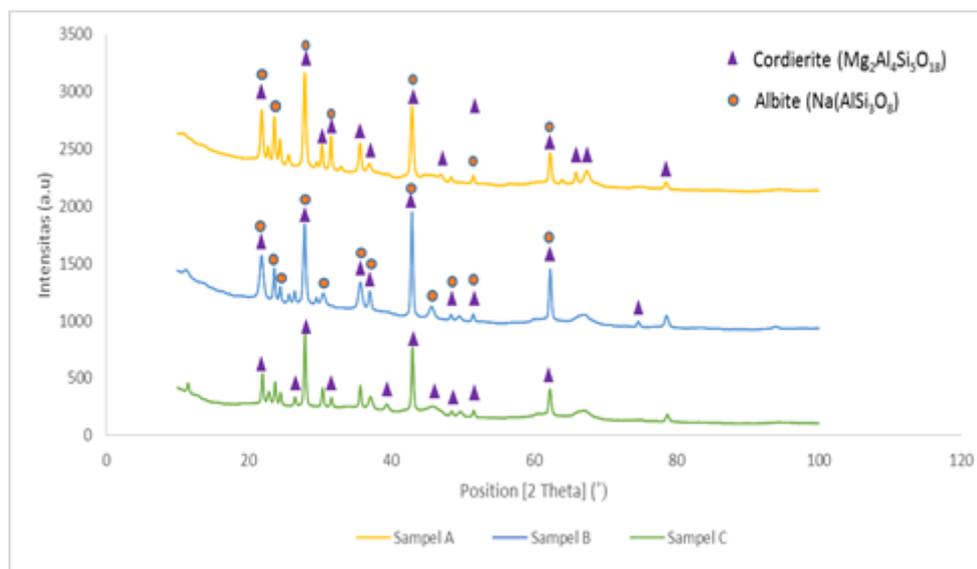
berkaitan dengan kekerasan karena semakin kecil nilai densitas maka kekerasan akan semakin menurun.

Tabel 4 Kekerasan keramik kordierit

Sampel	Titik Uji	VHN	Kekerasan rata-rata (kg/mm ²)
A	1	173	183
	2	187	
	3	189	
B	1	129	130
	2	129	
	3	132	
C	1	188	184,33
	2	180	
	3	185	

3.5 X-Ray Diffraction (XRD)

Pada Gambar 1 terlihat pola difraksi pada sampel yang telah dilakukan pencocokan data standar ICDD 01-072-0172 untuk fase *cordierite* dan 01-083-1606 untuk fase *albite*. Puncak-puncak yang ada pada difraktogram merupakan puncak-puncak *Cordierite* (Mg₂Al₄Si₅O₁₈) dan *Albite* (Na(AlSi₃O₈)).



Gambar 1 Pola difraksi sinar-X pada sampel A, B dan C

Intensitas tertinggi yang dihasilkan oleh sampel A yaitu puncak *Cordierite* yang berada pada posisi $\theta = 13,9267^\circ$. Struktur kristal yang dihasilkan oleh puncak *cordierite* adalah *orthorhombic* dengan parameter kisi $a = 17,083 \text{ \AA}$, $b = 9,738 \text{ \AA}$ dan $c = 9,335 \text{ \AA}$ dengan $\lambda = \beta = \gamma = 90^\circ$. Hasil perhitungan ukuran kristal untuk sampel A yaitu sebesar 40.7647 nm . Pada gambar terlihat bahwa fasa *cordierite* sudah terbentuk walaupun masih mengandung fasa *albite*.

Pembentukan keramik kordierit diakibatkan adanya reaksi antara MgO-Al₂O₃-SiO₂ dengan perbandingan komposisi 2:2:5 sesuai dengan penelitian Amalia, dkk (2017). Sementara, terbentuknya fasa *albite* (Na(AlSi₃O₈)) diakibatkan Al₂O₃ cenderung larut dalam SiO₂ sehingga terjadi reaksi antara Al₂O₃-SiO₂-Na akibat perlakuan termal. Adanya kandungan Na pada sampel ini yaitu hasil sampingan dari reaksi SiO₂ dengan NaOH pada saat mensintesis silika (SiO₂) dari abu vulkanik. Puncak-puncak difraksi *cordierite* lebih dominan dibandingkan dengan puncak difraksi *albite*. Maka, pola difraksi yang terbentuk menunjukkan bahwa proses sintesis yang dilakukan berhasil mendapat bahan keramik kordierit walaupun masih ada *albite* (Na(AlSi₃O₈)) didalamnya.

Intensitas tertinggi dari pola difraksi yang dihasilkan oleh sampel B yaitu pada puncak *cordierite* yang berada pada posisi $\theta = 21,4364^\circ$. Struktur kristal yang dihasilkan oleh puncak *cordierite* adalah *orthorhombic* dengan parameter kisi $a = 17,047 \text{ \AA}$, $b = 9,731 \text{ \AA}$ dan $c = 9,346 \text{ \AA}$ dengan $\lambda = \beta = \gamma = 90^\circ$. Ukuran kristal dapat dihitung dengan persamaan Scherrer. Hasil pengukuran ukuran kristal untuk sampel *cordierite* pada sampel B adalah 55,6403 nm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran kristal keramik kordierit setelah penambahan 10% (MgO & Al₂O₃) meningkat dibandingkan dengan keramik kordierit pada penambahan 0% (MgO & Al₂O₃).

Pada gambar terlihat bahwa fasa *cordierite* semakin berkurang akibat terdekomposisi oleh Al₂O₃ yang membentuk fasa *albite* (Na(AlSi₃O₈)). Terbentuknya fasa *albite* diindikasikan karena kecenderungan reaksi biner antara gugus fungsi Al₂O₃-SiO₂-Na untuk bereaksi satu sama lain lebih tinggi dibandingkan dengan reaksi antara MgO-Al₂O₃-SiO₂ akibat perlakuan termal.

Intensitas tertinggi yang dihasilkan oleh sampel C yaitu puncak *Cordierite* yang berada pada posisi $\theta = 13,9423^\circ$. Struktur kristal yang dihasilkan oleh puncak *cordierite* adalah *orthorhombic* dengan parameter kisi $a = 16,975 \text{ \AA}$, $b = 9,647 \text{ \AA}$ dan $c = 9,274 \text{ \AA}$ dengan $\lambda = \beta = \gamma = 90^\circ$. Hasil pengukuran ukuran kristal untuk sampel *cordierite* pada sampel C adalah 53,3487 nm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran kristal keramik kordierit setelah penambahan 15% (MgO & Al₂O₃) menurun dibandingkan dengan keramik kordierit pada penambahan 10% (MgO & Al₂O₃). Pada gambar terlihat bahwa fasa *cordierite* mulai meningkat kembali walaupun masih mengandung fasa *albite* (Na(AlSi₃O₈)).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai susut bakar pada penambahan massa 10% (MgO & Al₂O₃) yang didapatkan menurun yaitu sebesar 10,78%, namun seiring dengan penambahan massa 15% (MgO & Al₂O₃) semakin meningkat yaitu sebesar 16,85%. Nilai porositas pada penambahan massa 10% dan 15% (MgO & Al₂O₃) lebih besar dibandingkan dengan tanpa penambahan massa MgO dan Al₂O₃. Nilai uji densitas pada sampel A, sampel B, dan sampel C yang didapatkan yaitu 1,586 gr/cm³, 1,371 g/cm³, dan 1,500 g/cm³. Nilai uji kekerasan pada sampel A, sampel B, dan sampel C yang didapatkan yaitu 183 kg/mm², 130 kg/mm², dan 184,3 kg/mm². Berdasarkan hasil analisa XRD ukuran kristal pada sampel A, sampel B, dan sampel C yang didapatkan yaitu 40,7647 nm, 55,6403 nm, dan 53,3487 nm. Struktur fasa yang terbentuk pada sampel A, sampel B dan sampel C adalah *cordierite* dan *albite*. Sudut θ yang didapatkan berturut-turut yaitu 13,9267°, $\theta = 21,4364^\circ$ dan $\theta = 13,9423^\circ$.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, A. R., Sembiring, S., dan Simanjuntak, W., "Karakterisasi Termal (DTA/TGA) dan Konduktivitas Termal Kordierit (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) Berbasis Silika Sekam Padi Akibat Penambahan MgO (0, 10, 15% berat)", *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, **5(1)**, 59-64 (2017).
- Barasa, R.F., Rauf, A., dan Sembiring, M., "Dampak Debu Vulkanik Letusan Gunung Sinabung Terhadap Kadar Cu, Pb, Dan B Tanah Di Kabupaten Karo", *Jurnal Online Agroekoteknologi*, **1(4)**, 1288-1297 (2013).
- Fairus, F., Haryono, Sugito, M.H., dan Sudrajat, A., "Proses Pembuatan Waterglass dari Pasir Silika dengan Pelebur Natrium Hidroksida", *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, **8(2)**, 56-62 (2009).
- Kingery, W.D., Bowen., H.K., dan Uhlmann., D.R., "Introduction to Ceramics", (John Wiley and Sons, Singapore, 1976).
- Kramer, A.D., "Magnesium, its Alloys and Compounds", (U.S. Geological Survey Science for a Changing World, Hal. 1-41, 2000).
- Kumalasari, H., "Sintesis Silika Gel dari Abu Layang Batubara dan Uji Adsopsinya terhadap Ion Logam Timbal (II)", *Skripsi*, Fakultas MIPA, UNY, Yogyakarta, 2011.
- Li, Y., Cheng, X., dan Zhang, R., "Effect of Excess MgO on the Properties of Cordierite Ceramic Sintered by Solid-State Method", *International Journal Of Applied Ceramic Technology*, **12(2)**, 443-450 (2015).

- Sofyan, G., Alauhdin, M., dan Susatyo, E., "Sintesis Dan Karakterisasi Bahan Keramik Cordierite Dari Abu Sekam Padi", *Indonesian Journal of Chemical Science*, **2(2)** (2013).
- Tamalia, N., Sembiring, S., dan Simanjuntak, S., "Pengaruh Penambahan Alumina (0 dan 10 wt%) terhadap Karakteristik Termal (DTA-TGA) dan Konduktivitas Termal Bahan Keramik Kordierit Berbasis Silika Sekam Padi", *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, **5(1)**, 91-95 (2017).