

Pengaruh Penambahan Silika (SiO_2) dan Suhu Pembakaran Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit Berbasis Abu Sekam Padi

Mutia Ulfah, Mora*

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

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 05 September 2023

Direvisi: 18 November 2023

Diterima: 24 Desember 2023

Kata kunci:

Diffraction

Keramik

Kordierit

Silika

Keywords:

vehicle load

transceiver nRF24L01

fiber optic

sensor

Penulis Korespondensi:

Mutia Ulfah

Email: mutiaulfah3107@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi keramik kordierit menggunakan silika dari abu sekam padi. Penelitian dilakukan untuk mengetahui penambahan massa silika dan suhu pembakaran terhadap karakteristik keramik kordierit dari abu sekam padi. Sintesis keramik kordierit dengan perbandingan massa 14% Magnesium oksida, 35% Alumina, dan 51% Silika dari abu sekam padi menggunakan metode solid state dengan variasi suhu pembakaran (700, 800 dan 900) °C. Penentuan ukuran kristal dilakukan menggunakan uji XRD dan untuk nilai kekerasan digunakan microhardness tester. Selain itu dilakukan analisis sifat fisis kordierit meliputi pengukuran susut bakar, densitas dan porositas. Nilai susut bakar dan densitas mengalami kenaikan seiring dengan penambahan massa silika dan suhu pembakaran, kecuali pada penambahan 10 % silika suhu 700 °C nilai susut bakar menurun, pada suhu 900 °C nilai densitas juga menurun. Penambahan massa silika dan kenaikan suhu pembakaran membuat nilai porositas semakin meningkat kecuali pada suhu 900 °C dengan penambahan 15% silika. Penambahan silika menurunkan nilai kekerasan keramik kordierit, sehingga dengan meningkatnya suhu kalsinasi maka nilai kekerasan juga menurun, kecuali pada sampel tanpa silika pada suhu 800 °C. Berdasarkan hasil XRD tanpa penambahan silika pada suhu 700 °C diperoleh ukuran kristal sebesar 108,58 nm, dan pada suhu 900 °C dengan penambahan 10% silika sebesar 374,74 nm.

Synthesis and characterization of cordierite ceramics have been carried out using silica from rice husk ash. The research was conducted to determine the addition of silica mass and firing temperature on the characteristics of cordierite ceramics from rice husk ash. Synthesis of cordierite ceramics with a mass ratio of 14% Magnesium oxide, 35% Alumina, and 51% Silica from rice husk ash using the solid state method with variations in combustion temperature (700, 800 and 900) °C. Determination of crystal size was carried out using the XRD test and for hardness values a microhardness tester was used. In addition, an analysis of the physical properties of cordierite was carried out including measurements of burning loss, density and porosity. The burning loss and density values increase along with the addition of silica mass and combustion temperature, except for the addition of 10% silica at a temperature of 700 °C the burning loss value decreases, at a temperature of 900 °C the density value also decreases. The addition of silica mass and the increase in combustion temperature make the porosity value increase except at a temperature of 900 °C with the addition of 15% silica. The addition of silica reduces the hardness value of cordierite ceramics, so that with increasing calcination temperature the hardness value also decreases, except for samples without silica at a temperature of 800 °C. Based on the XRD results without the addition of silica at a temperature of 700 °C, the crystal size was 108.58 nm, and at a temperature of 900 °C with the addition of 10% silica it was 374.74 nm.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Keramik berasal dari bahasa Yunani kuno yaitu “*Keramikos*” yang artinya beberapa tanah liat yang sudah melalui tahap yaitu pembakaran sampai bentuknya mengeras. Seiring dengan berkembangnya zaman, produk utama keramik bukan dari tanah liat saja, tetapi juga bisa menggunakan kaolin, *ball clay* dan *felspard*. Keramik dapat dikategorikan antaranya keramik industri dan keramik rumah tangga. Keramik industri merujuk pada keramik yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan teknis. Jenis keramik ini dirancang untuk memenuhi persyaratan khusus seperti ketahanan terhadap suhu tinggi, keausan, bahan kimia, dan konduktivitas listrik atau panas. Keramik rumah tangga juga dikenal sebagai keramik konsumen, mengacu pada keramik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Mirna dkk., 2017). Dengan adanya keramik di tengah-tengah masyarakat dapat dijadikan suatu kerajinan yang sangat berguna untuk memenuhi pangsa pasar yang dibutuhkan masyarakat dalam dan luar negeri.

Pada era globalisasi seperti saat ini, industri keramik dituntut agar dapat berkompetisi dan bersaing secara sehat untuk peningkatan angka produktivitas meskipun industri keramik di Indonesia belum mengalami kemajuan yang signifikan. Keramik dibandingkan logam sebagai bahan industri antara lain tidak korosif, ringan, keras, dan stabil pada suhu tinggi. Dalam sebuah industri bahan baku menjadi bahan yang paling utama untuk pemenuhan produksi keramik. Salah satu bahan keramik saat ini mempunyai aplikasi yang luas dalam dunia industri dan penelitian adalah keramik kordierit. Kordierit merupakan keramik yang terdiri dari senyawa oksida, yaitu magnesium oksida (MgO), alumina (Al₂O₃), dan silika (SiO₂). Rumus kimia dari keramik ini adalah 2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂. Keramik kordierit digunakan dalam industri karena memiliki keunggulan, yaitu koefisien ekspansi termalnya rendah, konstanta dielektrik rendah, relativitas tinggi, dan daya tahan kimia baik. Dengan demikian keramik kordierit dapat digunakan sebagai bahan refraktori (Annisa dkk., 2017).

Keramik kordierit dapat disintesis dengan beberapa metode diantaranya, metode *solid state* (padatan) dan *sol gel*. Metode yang sering digunakan untuk sintesis material baik organik maupun anorganik adalah *solid state* dengan mereaksikan padatan dengan padatan tertentu dengan temperatur yang tinggi (Li dkk., 2015). Kordierit termasuk dalam kelompok senyawa silikat dan sangat jarang ditemukan di alam, tetapi dapat disintesis dengan mencampurkan bahan-bahan yang mengandung MgO, Al₂O₃ dan SiO₂. Pada umumnya silika yang digunakan untuk membuat keramik kordierit adalah silika komersial yang harganya relatif mahal, sehingga banyak penelitian yang menggunakan bahan-bahan alternatif untuk menggantikan silika seperti pasir kuarsa, abu batu bara, abu vulkanik dan abu sekam padi (Cibro dan Mora, 2020).

Pada penelitian ini silika yang digunakan adalah silika berbasis abu sekam padi. Sekam padi adalah limbah pertanian yang melimpah dari beberapa daerah, terutama di negara-negara dengan industri pertanian yang maju. Memanfaatkan sekam padi sebagai bahan baku dalam pembuatan keramik kordierit dapat membantu mengurangi limbah pertanian dan menghasilkan nilai tambah dari sisa-sisa pertanian. Selain itu abu sekam padi mengandung silika dalam jumlah yang cukup tinggi sebesar 94 % - 96 %. Dengan menggunakan abu sekam padi sebagai pengganti silika, dapat mengurangi biaya produksi karena abu sekam padi umumnya lebih murah atau bahkan tersedia secara Cuma-cuma dibandingkan dengan silika murni. Ini dapat membantu dalam pengembangan industri keramik lokal dengan biaya produksi yang lebih efisien (Yusandika, 2016). Sekam padi memiliki potensi yang layak didasarkan pada tiga faktor pendukung, yaitu ketersediaan sekam padi, kadar silika dalam sekam padi, dan kemudahan memperoleh silika dari sekam padi. Dibandingkan dengan sumber silika lain kemurnian silika yang diperoleh dari hasil ekstraksi abu sekam padi mencapai 95% (Mawarty dkk., 2018). Cibro dan Mora (2020) melakukan penelitian pengaruh massa MgO dan Al₂O₃ terhadap karakteristik keramik kordierit dari abu vulkanik Gunung Sinabung dengan penambahan massa MgO dan Al₂O₃ masing-masing 0%, 10% dan 15% dari berat serbuk keramik kordierit. Hasil penelitian menunjukkan nilai porositas semakin menurun, sedangkan nilai susut bakar dan kekerasan semakin meningkat.

Annisa dkk (2017) melakukan penelitian pembuatan keramik kordierit dengan penambahan MgO dengan variasinya yaitu (0, 10 dan 15) % disinterring pada suhu 1250 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan persentase MgO maka nilai densitasnya semakin menurun. (Li dkk., 2015) juga pernah melakukan penelitian penambahan MgO terhadap keramik kordierit, dari hasil penelitian penambahan MgO tidak mengurangi temperatur kristalisasi tetapi dapat

memudahkan pembentukan keramik kordierit. Pada saat MgO mengalami peningkatan terlalu banyak, mengakibatkan massa *spinel* meningkat seiring dengan peningkatan fasa kordierit. (Mawarty dkk., 2018) melakukan penelitian tentang karakteristik kekerasan dan struktur kristal kordierit berbasis abu sekam padi dengan penambahan alumina. Pembuatan keramik dilakukan dengan variasi massa alumina yaitu 0, 20, 25 dan 30 wt%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan semakin meningkat dan hasil XRD menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk yaitu kordierit, spinel, kristobalit, dan *periclase*. Hal ini menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan Alumina nilai kekerasan semakin meningkat. Hal ini tentunya sangat dibutuhkan dalam pembuatan keramik kordierit.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian yang dilakukan sebelumnya belum memenuhi standar karakteristik keramik kordierit berdasarkan SNI 15-0305-1991, oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan silika berbasis abu sekam padi dengan penambahan massa (0, 10, dan 15) % terhadap karakteristik pembentukan struktur fasa, ukuran kristal, sifat fisis, kekerasan keramik serta pengaruh suhu pembakaran pada pembuatan keramik kordierit. Kordierit disintesis dengan campuran bahan dasar magnesium oksida (MgO), alumina (Al₂O₃) dan silika (SiO₂) berbasis abu sekam padi dengan metode *solid state* dan disintering pada suhu (700, 800 dan 900) °C. Untuk mengetahui karakteristik struktur fasa kordierit, digunakan difraksi sinar-X (XRD) sedangkan kekerasan menggunakan *microhardness tester*. Disamping itu juga dilakukan analisis sifat fisis kordierit meliputi pengukuran susut bakar, densitas dan porositas.

II. METODE

2.1 Persiapan bahan baku

Persiapan bahan baku dilakukan dengan mempersiapkan sekam padi. Sekam padi selanjutnya dibakar menggunakan *furnace* pada suhu 700 °C selama 3 jam hingga menjadi abu. Abu sekam padi kemudian digerus menggunakan lumpang dan alu dan diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*.

2.2 Ekstraksi silika

Abu sekam padi sebanyak 5 gram dilarutkan dengan 60 ml NaOH 4M kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 100 °C selama 120 menit. Aquades ditambahkan sebanyak 250 ml sehingga terbentuk larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) yang nantinya akan berperan sebagai prekursor. Larutan natrium silikat dimasukkan ke dalam gelas kimia, kemudian ditetesi dengan HCl 8M dan diaduk pada suhu 100°C sampai terbentuk gel berwarna putih dengan pH 7. Larutan didiamkan hingga pertikel-partikel berwarna putih tersebut mengendap. Sampel kemudian dicuci menggunakan *aquades* 300 ml sebanyak 3 kali. Endapan putih yang terbentuk diambil menggunakan kertas saring kemudian dikeringkan pada suhu 200°C selama 3 jam, lalu digerus menggunakan lumpang dan alu hingga halus.

2.3 Pembuatan Sampel Keramik Kordierit

Kordierit disintesis dengan menggunakan metode *solid state* dengan bahan penyusun MgO, Al₂O₃ dan SiO₂ yang ditimbang dan dicampurkan dengan perbandingan massa 14%: 35%: 51%. Kemudian bubuk kordierit diayak menggunakan ayakan 100 *mesh* agar bubuk kordierit menjadi homogen. 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 diaduk 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 lalu digerus sampai halus. Penambahan SiO₂ pada penelitian ini adalah (0, 10, dan 15) % dari massa keramik kordierit. Paduan yang telah kering digerus dan disaring menggunakan ayakan 100 *mesh* agar diperoleh bubuk kordierit yang homogen kemudian bubuk yang telah diayak dituang ke dalam cetakan pelet yang terbuat dari *stainless steel* lalu dicetak menggunakan alat press dengan beban 5 ton untuk menghasilkan pelet. Pelet ditata di dalam cawan tahan panas kemudian dimasukkan ke dalam *furnace*. Pembakaran pelet dilakukan pada suhu (700, 800, dan 900) °C dengan kenaikan suhu 5°C/menit dan dilakukan penahanan selama 3 jam. Setelah pelet yang sudah dilakukan pemanasan, pelet tersebut diuji susut bakar, porositas, densitas, dan kekerasan. Uji densitas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Di mana ρ merupakan densitas bahan, m adalah massa benda, dan V adalah volume benda.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Susut Bakar

Nilai susut bakar keramik untuk semua variasi massa silika dan suhu pembakaran berdasarkan Tabel 1 berkisar antara 3,659 – 11,494 %. Nilai susut bakar maksimum diperoleh pada sampel tanpa tambahan silika pada suhu 900°C yaitu sebesar 11,494 %, sedangkan nilai susut bakar minimum diperoleh pada sampel tanpa penambahan silika pada suhu 800°C yaitu sebesar 3,659 %. Nilai susut bakar ditandai dengan berkurangnya dimensi, volume, dan massa suatu bahan setelah sintering. Nilai susut bakar pada suhu 700°C tanpa penambahan silika mengalami penurunan sebesar 9,589% sedangkan dengan penambahan silika 10% mengalami penurunan sebesar 4,545%. Penyusutan terjadi akibat hilangnya kandungan air melalui reaksi dehidrasi (Yusandika, 2016). Penambahan silika 15%, mengakibatkan nilai susut bakar meningkat menjadi 8,33%, sama dengan pada suhu 900°C. Pada suhu 800°C nilai penyusutan pada pembakaran dengan komposisi tanpa silika sebesar 3,659%, pada penambahan komposisi massa silika nilai penyusutan semakin besar, hal ini sesuai dengan penelitian (Annisa dkk., 2017). Semakin besar kadar air yang menutupi partikel kordierit maka pori-porinya semakin besar sehingga penyusutan yang terjadi semakin besar.

Tabel 1 Susut Bakar Keramik Kordierit

Komposisi massa (%)	Susut Bakar (%)		
	Suhu 700 °C	Suhu 800 °C	Suhu 900 °C
0	9,589	3,659	11,494
10	4,545	10,577	10,101
15	8,33	11,009	10,714

3.2 Porositas

Nilai porositas keramik kordierit berdasarkan Tabel 2 berkisar antara 5,36 – 24,48%. Nilai porositas maksimum pada penambahan 10% silika dengan suhu pembakaran 900 °C. Sedangkan nilai porositas minimum terdapat pada sampel tanpa penambahan silika dengan suhu pembakaran 700 °C. Nilai porositas mempengaruhi nilai kekerasan keramik kordierit. Semakin besar porositas maka semakin rendah nilai kekerasan dari keramik kordierit. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai porositas keramik kordierit meningkat dengan penambahan massa silika dan peningkatan suhu pembakaran. Hal ini disebabkan karena ukuran kristal yang besar dan tidak terintegrasi dengan baik atau heterogen, sehingga pori-pori menjadi lebih besar. Meningkatnya nilai porositas juga disebabkan karena nilai kekerasan sampel yang semakin menurun seiring dengan penambahan silika. Hal ini sesuai dengan penelitian Annisa dkk. (2017) bahwa semakin rendah nilai kekerasan keramik kordierit maka semakin tinggi pula kerapatan pori-pori. Sedangkan porositas keramik kordierit mengalami penurunan setelah penambahan silika 10%. 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, ini sesuai dengan penelitian (Cibro & Mora, 2020).

Tabel 1 Porositas Keramik Kordierit

Komposisi Massa (%)	Porositas (%)		
	Suhu 700 °C	Suhu 800 °C	Suhu 900 °C
0	5,36	7,51	10,74
10	8,10	10,88	24,48
15	10,04	18,85	20,65

3.3 Densitas

Nilai densitas keramik kordierit setelah dilakukan pengujian dan perhitungan menggunakan Persamaan 1 diperoleh hasil seperti pada Tabel 3. Nilai densitas maksimum diperoleh pada sampel dengan penambahan silika 10% pada suhu pembakaran 800 °C, sedangkan densitas minimum terdapat pada sampel tanpa penambahan silika dengan suhu pembakaran 700 °C. Sampel tanpa penambahan silika nilai densitasnya meningkat seiring dengan kenaikan suhu, kecuali pada penambahan silika 10% nilai densitasnya menurun pada suhu 900 °C sebesar 1,452%. Hal ini disebabkan karena penambahan silika 10% mempunyai nilai porositas yang tinggi dan bila ditambahkan silika 15%, seiring dengan kenaikan suhu maka nilai densitasnya juga meningkat.

Tabel 2 Densitas keramik kordierit

Komposisi Massa (%)	Densitas		
	Suhu 700 °C	Suhu 800 °C	Suhu 900 °C
0	0,885	1,241	1,656
10	1,359	1,887	1,452
15	1,104	1,284	1,721

3.4 Kekerasan

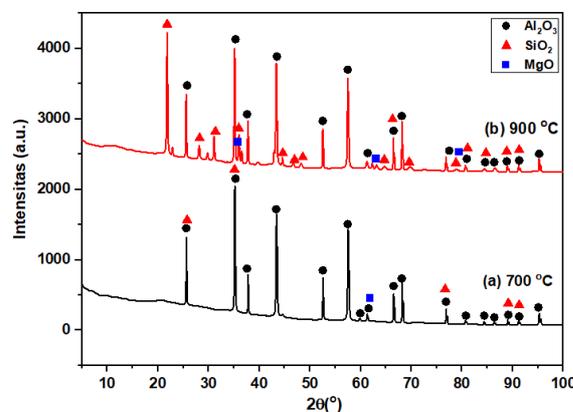
Berdasarkan Tabel 4 pada penambahan 0% silika saat suhu dinaikan nilai kekerasan semakin menurun, kecuali pada penambahan 15% silika mengalami kenaikan pada suhu 700 dan 900 °C. Hal ini disebabkan karena pencampuran material tidak sempurna. Partikel-partikel pada sampel kurang rapat sehingga ikatan butiran satu dengan yang lainnya menjadi lemah, ini sesuai dengan penelitian (Dahlia dkk., 2016).

Tabel 3 Kekerasan Keramik Kordierit

Komposisi Massa (%)	Kekerasan (VHN) (kg/mm ²)		
	Suhu 700 °C	Suhu 800 °C	Suhu 900 °C
0	37,53	23,7	19,19
10	24,35	18	15,82
15	24,52	9,06	9,82

3.5 X-Ray Diffraction

Serbuk keramik kordierit dengan penambahan silika (SiO₂) sebanyak 0%, 10%, dan 15% yang disintering dengan variasi suhu pembakaran yaitu (700, 800 dan 900) °C. Pola difraksi sinar-X pada sampel ditunjukkan pada Gambar 1 dan dibandingkan dengan pola difraksi yang terdapat pada data ICDD (*Internasional for Diffraction Database*).



Gambar 1 Uji XRD sampel pada (a) suhu 700 °C tanpa penambahan silika dan (b) suhu 900 °C dengan penambahan 10% silika

Gambar 1(a) merupakan hasil XRD dari sampel dengan variasi suhu 700 °C tanpa penambahan silika, terlihat pola difraksi pada sampel yang telah dilakukan pencocokan pada data standar ICDD 01-077-8624 untuk silika, 01-076-0144 untuk Alumina, dan 01-076-6599 untuk magnesium oksida. Puncak-puncak yang terdapat pada grafik merupakan puncak dari silika, alumina dan magnesium oksida. Intensitas tertinggi yang dihasilkan adalah puncak silika (SiO₂) yang berada pada sudut $2\theta = 35,1759^\circ$. Struktur kristal yang dihasilkan oleh puncak silika (SiO₂) adalah *hexagonal*, dengan parameter kisi $a = 5,0845 \text{ \AA}$, $b = 5,0854 \text{ \AA}$, dan $c = 5,5647 \text{ \AA}$ pada $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$.

Hasil XRD dari sampel dengan variasi suhu 900 °C dengan penambahan 10% silika didapatkan pola difraksi pada sampel yang telah dilakukan pencocokan pada data standar ICDD 01-076-0940 untuk silika, 01-011-0661 untuk Alumina, dan 01-045-0946 untuk Magnesium Oksida. Puncak-puncak yang terdapat pada grafik merupakan puncak dari silika, alumina dan magnesium oksida. Intensitas tertinggi yang dihasilkan adalah puncak silika (SiO₂) yang berada pada posisi $2\theta = 35,1171^\circ$. Struktur kristal yang dihasilkan oleh puncak silika (SiO₂) adalah Tetragonal dengan parameter kisi $a = 4,9964 \text{ \AA}$, $b = 4,9964 \text{ \AA}$, dan $c = 7,0169 \text{ \AA}$ dengan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Ukuran kristal yang diperoleh pada suhu 700 tanpa penambahan silika sebesar 108,58 nm, dan pada suhu 900 °C dengan penambahan 10% silika diperoleh ukuran kristal sebesar 374,74 nm.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa, pada penambahan massa silika, nilai susut bakar nya semakin tinggi. Penambahan silika dan kenaikan suhu pembakaran menyebabkan nilai porositas semakin meningkat kecuali pada suhu 900 °C dimana nilai porositas menurun saat penambahan 15 % silika. Nilai densitas pada saat penambahan 10% silika pada suhu 700 dan 800 °C semakin meningkat kecuali pada saat penambahan 15% silika nilai densitasnya menurun. Penambahan massa silika pada keramik kordierit menyebabkan nilai kekerasannya menurun. Pada saat suhu pembakaran dinaikkan nilai kekerasan juga menurun kecuali pada sampel tanpa penambahan silika dengan suhu 800 °C. Berdasarkan hasil XRD pada suhu 700 °C tanpa penambahan silika diperoleh ukuran kristal sebesar 108,58 nm, dan pada suhu 900 °C dengan penambahan 10% silika diperoleh ukuran kristal sebesar 374,74 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, R. A., Simon, S., & Wasinton, S. (2017). Karakteristik Termal (DTA/TGA) dan Konduktivitas Termal Kordierit (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) Berbasis Silika Sekam Padi Akibat Penambahan MgO (0, 10, 15%berat). *Majalah Ilmiah Fisioterapi Indonesia*, 5(3), 1–4.
- Cibro, L. P. H., & Mora, M. (2020). Pengaruh Massa Magnesium Oksida (MgO) dan Alumina (Al₂O₃) Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 292–298. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.3.292-298.2020>.
- Dahlia, D., Sembiring, S., & Simanjuntak, W. (2016). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Fisis Komposit MgO-SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 01(01), 1–4.
- Li, Y., Cheng, X., Zhang, R., Wang, Y., & Zhang, H. (2015). 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. <https://doi.org/10.1111/ijac.12174>.
- Mawarty, N. E., Sembiring, S., & ... (2018). Karakteristik Kekerasan dan Struktur Kristal Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi dengan Penambahan Alumina (0, 20, 25, dan 30 wt%). *Jurnal Teori dan ...*, 06(01), 83–90. <https://jurnal.fmipa.unila.ac.id/index.php/jtaf/article/view/1829>.
- Mirna, Iqbal, H., & Kasman. (2017). Analisis Sifat-sifat Fisik Keramik Berbahan Tambahan Abu Ampas Tebu dan Abu Sekam Padi. *Gravitasi*, 16(2), 10–16.
- Yusandika, A. D. (2016). Sintesis Keramik Coerdierite Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Material Isolator Listrik. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 5(2), 161–172. <https://doi.org/10.24042/jpifalbiruni.v5i2.116>.

- Annisa, R. A., Simon, S., & Wasinton, S. (2017). Karakteristik Termal (DTA/TGA) dan Konduktivitas Termal Kordierit (2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂) Berbasis Silika Sekam Padi Akibat Penambahan MgO (0, 10, 15%berat). *Majalah Ilmiah Fisioterapi Indonesia*, 5(3), 1–4.
- Cibro, L. P. H., & Mora, M. (2020). Pengaruh Massa Magnesium Oksida (MgO) dan Alumina (Al₂O₃) Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 292–298. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.3.292-298.2020>.
- Dahlia, D., Sembiring, S., & Simanjuntak, W. (2016). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Fisis Komposit MgO-SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi. *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*, 01(01), 1–4.
- Li, Y., Cheng, X., Zhang, R., Wang, Y., & Zhang, H. (2015). 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. <https://doi.org/10.1111/ijac.12174>
- Mawarty, N. E., Sembiring, S., & ... (2018). Karakteristik Kekerasan dan Struktur Kristal Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi dengan Penambahan Alumina (0, 20, 25, dan 30 wt%). *Jurnal Teori dan ...*, 06(01), 83–90. <https://jurnal.fmipa.unila.ac.id/index.php/jtaf/article/view/1829>
- Mirna, Iqbal, H., & Kasman. (2017). Analisis Sifat-sifat Fisik Keramik Berbahan Tambahan Abu Ampas Tebu dan Abu Sekam Padi. *Gravitasi*, 16(2), 10–16.
- Yusandika, A. D. (2016). Sintesis Keramik Coerdierite Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Material Isolator Listrik. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 5(2), 161–172. <https://doi.org/10.24042/jpifalbiruni.v5i2.116>