



PENGARUH KOMPOSISI $MgO-SiO_2-AL_2O_3$ TERHADAP KONSTANTA DIELEKTRIK, KEKERASAN, DAN MIKROSTRUKTUR KERAMIK OKSIDA

Puspita Faruwu dan Maryati Doloksaribu

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas

Negeri Medan, Indonesia

puspitadetry@gmail.com

Diterima: April 2022. Disetujui: Mei 2022. Dipublikasikan: Juni 2022

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh komposisi $MgO-SiO_2-AL_2O_3$ terhadap konstanta dielektrik, kekerasan, dan mikrostruktur. Keramik yang baik bisa dihasilkan dari paduan bahan keramik dengan komposisi tertentu dimana memiliki sifat keras dan mampu menyimpan muatan listrik. Magnesium oksida (MgO) diperingkatkan sebagai bahan isolator yang paling tahan panas untuk aplikasi praktek. Silika (SiO_2) dikenal dengan kekerasannya, selain itu silika juga dapat mengurangi keplastisan dan mengurangi susut kering. Penambahan alumina (AL_2O_3) pada keramik terjadi pengurangan massa keramik. Akan tetapi, nilai kekerasan yang didapatkan semakin meningkat. Sehingga paduan antara $MgO-SiO_2-AL_2O_3$ diharapkan menghasilkan keramik yang memiliki keunggulan sifat mekanik dan elektrik. Penelitian ini membuat variasi komposisi dari $MgO-SiO_2-AL_2O_3$ dengan perbandingan komposisi 50%:50%:0%, 80%:15%:5%, 60%:32%:8%, 30%:63%,12%, 10%:75%:15%. Sintering dilakukan pada suhu 1200oC dengan lama penahanan selama 8 jam. Kemudian sampel diukur kapasitansinya menggunakan kapasitansi meter dan dihitung nilai kosntanta dielektrik, uji kekerasan menggunakan Rockwell tipe Hardness Tester. Sampel yang telah diuji kekerasan kemudian diambil tiga nilai kekerasan, yaitu kekerasan rendah, sedang, dan tinggi untuk diuji mikrostruktur dengan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa : (1) Apabila kadar MgO meningkat maka nilai konstanta dielektrik semakin besar namun menyebabkan pori-pori semakin banyak. (2) Apabila kadar $SiO_2-AL_2O_3$ meningkat maka nilai kekerasan semakin besar dan jumlah pori-pori semakin berkurang. (3) Dari antara 5 sampel yang telah diteliti, sampel yang paling baik digunakan adalah sampel 3 dimana memiliki nilai konstanta dielektrik yang baik, nilai kekerasan yang sedang dan mikrostruktur jumlah pori-pori yang tidak terlalu banyak.

Kata Kunci: $MgO-SiO_2-AL_2O_3$, Konstanta dielektrik, Kekerasan, Mikrostruktur.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of composition $MgO-SiO_2-AL_2O_3$ on dielectric constant, hardness, and microstructure. Good ceramics can be produced from an alloy of ceramic materials with a certain composition which hashard and able to store electric charge. Magnesium Oxide (MgO) ranked as the most heat-resistant insulating material for applications practice. Silica (SiO_2) is known for its hardness, besides that silica can also reduce plasticity and reduce dry shrinkage. The addition of alumina (AL_2O_3) to the ceramic resulted in a reduction in the mass of the ceramic. However, the hardness value obtained is increasing. So that the alloy between $MgO-SiO_2-AL_2O_3$ is expected to produce ceramics

that have superior mechanical and electrical properties. This study varied the composition of MgO-SiO₂-AL₂O₃ with a composition ratio of 50%:50%:0%, 80%:15%:5%, 60%:32%:8%, 30%:63%:12%, 10%:75%:15%. Sintering was carried out at 1200oC with a holding time of 8 hours. Then the sample's capacitance was measured using a capacitance meter and calculated the value of the dielectric constant, hardness test using Rockwell Hardness Tester type. The samples that have been tested for hardness are then taken three hardness values, namely low, medium, and high hardness to be tested for microstructure by SEM. The results show that: (1) If the MgO content increases, the value of the dielectric constant will increase but causing more pores. (2) If the level of SiO₂-AL₂O₃ increases the higher the hardness value and the smaller the number of pores. (3) Of the 5 samples that have been studied, the best sample used is sample 3 which has a good dielectric constant value, moderate hardness value and the microstructure of the number of pores is not too much.

Keywords: *MgO-SiO₂-AL₂O₃, Dielectric constant, Hardness, Microstructure*

PENDAHULUAN

Keramik terus berkembang menjadi material yang sangat penting pada masa kini. Hal ini disebabkan oleh pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah banyak membawa pengaruh dan perubahan berbagai aspek kehidupan. Dengan adanya ilmu pengetahuan dan teknologi tentang keramik, telah dapat diidentifikasi struktur dan komposisi kimia penyusunnya dan bahan pencampur lain yang dapat membuat sifat keramik lebih baik, maka dapat dihasilkan suatu produk keramik untuk berbagai kebutuhan industri mekanik, elektronik, filter bahkan dipakai pada bidang teknologi ruang angkasa (Nurzal dan Antonio Eko Saputra.N, 2013).

Keramik dijumpai pada hampir setiap bagian produk teknologi. Perkembangan teknologi berbasis bahan keramik semakin maju, hal ini terlihat dari banyaknya penelitian tentang bahan tersebut. Bahan keramik merupakan material dengan stuktural yang menarik dilihat dari karakteristiknya, misalnya kapasitas panas yang baik, konduktivitas panas rendah, ketahanan korosi yang baik, sifat listriknya dapat insulator, semikonduktor, konduktor bahkan superkonduktor, sifat magnetiknya dapat magnetik dan non-magnetik, sifat mekaniknya dapat keras dan kuat, namun rapuh yang memungkinkannya digunakan untuk berbagai aplikasi (Sobirin.dkk, 2016).

Salah satu bahan keramik yang mempunyai aplikasi yang luas baik dalam dunia industri maupun penelitian adalah magnesium oksida (MgO). Magnesium Oksida adalah salah satu bahan utama dalam pembuatan keramik karena Magnesium oksida mempunyai titik leleh yang sangat tinggi yang berkisar sekitar 20000C (Ponikam. 2018). Magnesium oksida diperingkat sebagai bahan isolator yang paling tahan panas untuk aplikasi praktek.

SiO₂ mempunyai sifat menambah kekuatan dimana kekuatan patah yang tinggi berbanding lurus dengan nilai thermal shock. Silika dengan kemurnian yang tinggi merupakan bahan yang sangat baik untuk pembentukan keramik dengan pemuai yang sangat rendah.

Aluminium Oksida (Al₂O₃) adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al₂O₃. Alumina (Al₂O₃) merupakan material keramik non silika yang paling penting. Material ini meleleh pada suhu 20510C dan mempertahankan kekuatannya bahkan dari suhu 15000C sampai 17000C. Alumina mempunyai ketahanan listrik yang tinggi dan tahan terhadap kejutan termal dan korosi (Sutrisno, 2016).

Dalam kehidupan sehari-hari, kata keramik sering didengar dan digunakan untuk berbagai keperluan seperti yang telah diterapkan pada beberapa industri, misalnya industri bangunan, elektronik dan lain-lain.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan keramik maka untuk memberikan pemikiran yang kritis, peneliti dituntut untuk semakin kreatif dalam menyumbangkan karya-karya yang inovatif demi mengikuti kemajuan IPTEK dengan teknologi tepat guna sehingga nantinya dapat memberikan kontribusi yang berguna bagi kehidupan sehari-hari terutama industri keramik.

Keramik yang baik bisa dihasilkan dari paduan bahan keramik dengan komposisi tertentu di mana memiliki beberapa sifat, diantaranya sifat mekanik dan sifat dielektriknya. Magnesium oksida (MgO) merupakan keramik elektronik yang materialnya memiliki sifat dielektrik dan mampu menyimpan muatan listrik. Silika (SiO₂) merupakan bahan yang penting dalam pembuatan keramik dan pembentukan gelas. Silika memiliki partikel-partikel yang kasar dan memberikan kontribusi yang besar pada sifat mekanik yaitu kekerasan. Penambahan alumina (Al₂O₃) pada keramik mendukung untuk meningkatkan nilai kekerasan pada keramik.

Sehingga paduan antara MgO, SiO₂, dan Al₂O₃ diharapkan dapat mengetahui pengaruh terhadap karakteristik pembentukan struktur fasa, ukuran kristal dan sifat fisis serta kekerasan dan menghasilkan keramik yang memiliki keunggulan dan ketahanan, diantaranya memiliki sifat keras dan mampu menyimpan muatan listrik yang diaplikasikan sebagai bahan kapasitor keramik.

Konstanta dielektrik adalah perbandingan nilai kapasitansi kapasitor dibahan dielektrik dengan nilai kapasitansi di ruang hampa. Untuk menghitung nilai konstanta dielektrik dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\epsilon_r = \frac{C d}{\epsilon_0 A}$$

dengan:

C = kapasitansi kapasitor (F)

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa (F/m)

A = luas plat (m²)

d = jarak antar plat (m)

Konstanta dielektrik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta bahan dielektrik (Nurmasyitah, 2017)

Bahan	Nilai (K)
Udara Vakum	1
PTFE	2
Polystyrene	2,6
Lak	3,5
SRBP	4-5,5
Gelas	8
Keramik K- rendah	40-99,5
Keramik K- tinggi	100-2000

Pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan dengan cara menekan permukaan benda uji dengan suatu indentor, permukaan benda uji menjadi siap untuk menerima beban.

Perhitungan uji kekerasan Rockwell, kedalaman penetrasi permanen yang dihasilkan dari penerapan beban dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$HR = E - e$$

Dengan keterangan

HR = hardness Rockwell

E = 100 untuk indentor intan, 130 untuk indentor bola

e = kedalaman penetrasi permanen karena beban

$$e = h/0,0002 \text{ mm}$$

h = kedalaman penetrasi oleh beban setelah dilepas

Didalam prakteknya nilai kekerasan Rockwell dapat dibaca langsung pada dial gauge, atau ditampilkan pada layar monitor jika menggunakan mesin pengujian kekerasan Rockwell digital (Ardra.biz).

SEM adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas electron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas electron akan memantulkan kembali berkas electron atau dinamakan berkas electron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas electron yang

dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis (Inkson, B.J. 2016).

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Juni 2021 - Agustus 2021. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Fisika, Universitas Negeri Medan. Jl. Willièm Iskandar Psr V, Medan.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

Tabel 2. Alat penelitian

No.	Nama Alat	Spesifikasi
1	Timbangan digital	Shimadzu Ay220
2	Spatula lab	18 cm
3	<i>Hidrolicpress</i>	16 T
4	Oven	Nabertherm
5	Capacitance meter	CM8601A+
6	<i>Rockwell tipe Hardness Tester</i>	LC-200 RB
7	SEM	EVO MA 10

Bahan Penelitian

Tabel 3. Bahan penelitian

	Persentasi variasi komposisi		
	(MgO)	(SiO ₂)	(Al ₂ O ₃)
Sampel 1	50%	50%	0 %
Sampel 2	80%	15%	5 %
Sampel 3	60%	32%	8%
Sampel 4	30%	63%	12%
Sampel 5	10%	75%	15%

Analisis Data

Penelitian ini bersifat eksperimen sejati (*true experimental research*) yaitu pembuatan sampel dengan variasi komposisi magnesium oksida (MgO), silika oksida (SiO₂), dan aluminium oksida (Al₂O₃) yang dihitung nilai konstanta dielektrik, diuji kekerasan, dan dilihat jumlah luas pori mikrostrukturnya. Rancangan penelitian dapat uraikan sebagai berikut.

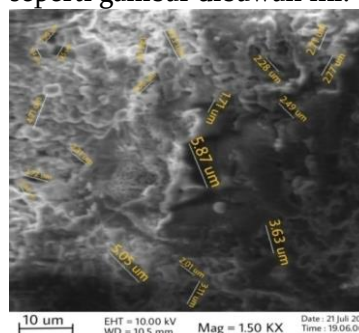
1. Sampel dengan variasi komposisi MgO-SiO₂-Al₂O₃ yang berbeda disintering dengan suhu 1200°C dengan lama penahanan 8 jam. Sampel ini kemudian dihitung nilai konstanta dielektriknya dengan alat kapasitansimeter.
2. Sampel dengan variasi komposisi MgO-SiO₂-Al₂O₃ yang berbeda diuji kekerasan dengan metode Vickers Hardness menggunakan alat *Rockwell* tipe *Hardness Tester*.
3. Sampel dengan nilai kekerasan terendah, sedang, dan tertinggi dilihat mikrostrukturnya dengan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian SEM

Dalam penelitian ini dikarakterisasi dengan SEM (Scanning Electron Microscope). Pengamatan struktur morfologi dilakukan untuk melihat melihat luas pori pori yang terdapat pada permukaan sampel tersebut. Sample yang telah dikarakterisasi adalah sample 2, sample 3, dan sample 5. Ketiga sample tersebut dipilih karena memiliki nilai kekerasan yang dapat mewakili sample yang lain yaitu untuk sample dengan kekerasan terkecil (sampel 2), kekerasan sedang (sampel 3), dan nilai kekerasan tertinggi (sampel 5). Perhitungan panjang luas pori-pori menggunakan aplikasi *ImageJ*.

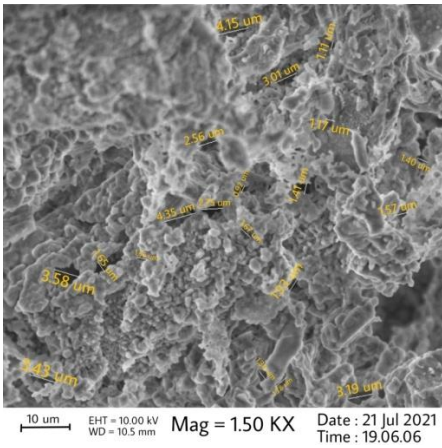
Dari hasil uji SEM diperoleh mikrostruktur permukaan keramik oksida seperti gambar dibawah ini.



Gambar 1. Potret Uji SEM sample 2

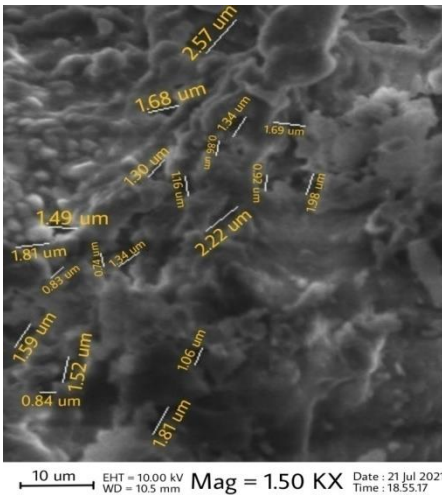
Pada Gambar 1. keramik oksida MgO-SiO₂-Al₂O₃ dengan kekerasan terkecil memiliki rata-rata panjang luas pori-pori 2.72 µm. Pada gambar ini terdapat banyak pori-pori

besar yang muncul hal ini di karenakan banyaknya penambahan unsur MgO (Mahraini A. dkk, 2017) sehingga menyebabkan pori-pori semakin banyak dan nilai kekerasannya rendah.



Gambar 2. Potret Uji SEM sample 3

Pada Gambar 2. keramik oksida MgO-SiO₂-Al₂O₃ dengan kekerasan sedang memiliki memiliki rata-rata panjang luas pori-pori 2.22 μm. Terlihat pada gambar homogenisasi bahan cukup baik walaupun hasil pengamatan pada gambar masih ada terlihat pori-pori tetapi tidak terlalu banyak.



Gambar 3. Potret Uji SEM sample

Pada Gambar 3 keramik oksida MgO-SiO₂-Al₂O₃ dengan kekerasan sedang memiliki rata-rata panjang luas pori-pori 1.40 μm. Pada gambar ini tidak banyak terdapat pori-pori yang muncul hal ini di karenakan banyaknya penambahan unsur SiO₂-Al₂O₃ yang memberikan kontribusi yang besar pada sifat mekanik kekerasan, kekuatan yang sangat tinggi dan sangat keras (Raharjodkk., 2015).

sehingga menyebabkan nilai kekerasan pada sample 5 paling tinggi diantara sample lain.

Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan metode Kekerasan *Rockwell* tujuan dilakukan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui nilai kekerasan yang terdapat pada setiap sampel uji dengan menggunakan alat *Rockwell type hardness tester*.

Tampilan hasil uji kekerasan dari alat ukurnya ditunjukkan pada Gambar 4. untuk data hasil uji kekerasan sampel 1- sampel 5 dapat dilihat pada Tabel 4.

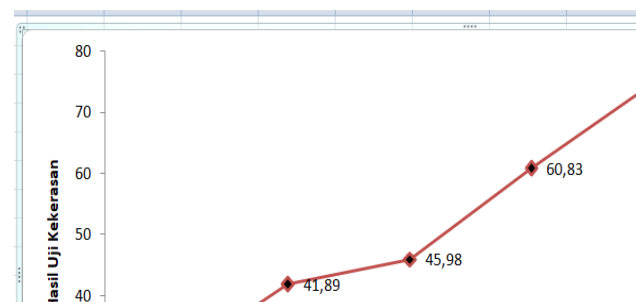


Gambar 4. Tampilan hasil uji kekerasan menggunakan alat ukurnya

Tabel 4. Data hasil uji kekerasan

Variasi Komposisi MgO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃	Nilai Kekerasan
50%-50%-0%	41,89 Kgf/mm ²
80%-15%-5%	28,54 Kgf/mm ²
60%-32%-8%	45,98 Kgf/mm ²
30%-63%-12%	60,83 Kgf/mm ²
10%-75%-15%	74,76 Kgf/mm ²

Berdasarkan data dalam Tabel 4. di atas, selanjutnya dibuat Grafik hubungan antara Kekerasan dengan variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃.



Gambar 5. Grafik hubungan antara Kekerasan dengan variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃.MgO SiO₂-Al₂O₃.

Pada Gambar 5. menunjukkan grafik hubungan antara variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃ dengan Kekerasan. Bertambahnya nilai Kekerasan dari variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃ disebabkan oleh semakin besarnya variasi komposisi SiO₂-Al₂O₃.

Dikarenakan Silika Oksida memiliki partikel - partikel yang kasar dan memberikan kontribusi yang besar pada sifat mekanik kekerasan bahan karena bahan tidak mudah lembek dan tahan terhadap penetrasi pada permukaannya.

Alumina (Al₂O₃) merupakan bahan yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi karena sifat fisika dan kimia yang tinggi, seperti kekuatan yang sangat tinggi dan sangat keras (Raharjodkk., 2015).

Dalam hal ini dapat kita ketahui apabila kadar SiO₂-Al₂O₃ meningkat maka nilai kekerasan semakin besar dan jumlah pori-pori semakin berkurang. Dan apabila pada mikrostruktur jumlah pori-pori semakin berkurang, maka nilai kekerasan cenderung naik.

Pengujian Konstanta Dielektrik

Pengujian konstanta dielektrik keramik oksida dari beberapa bahan telah dilakukan dengan sampel berbentuk bubuk yang telah dipadatkan. Sampel merupakan campuran dari *magnesium oksida* (MgO), *silika oksida* (SiO₂), dan *aluminium oksida* (Al₂O₃). Sampel yang telah dipreparasi mengalami pengikatan

komposisi yang baik hal ini terlihat dalam tahapan-tahapan pembuatan bahan sampel, Setelah sampel dicetak menggunakan *hidrolicpress* dengan tekanan 5 ton sampel keramik oksida menghasilkan bentuk yang sempurna, rongga (jarak) antar butir dalam sampel menyempit (rapat), bentuk butiran berubah menjadi butiran-butiran yang saling mengikat serta ukuran butir homogen.

Pengujian konstanta dielektrik keramik oksida menggunakan kapasitansi meter. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai konstantan dielektrik yang paling dominan dari lima sample yang akan diuji dengan variasi komposisi bahan dan suhu sintering 1200°C. Dari lima sampel yang diuji didapatkan data nilai kapasitansi hasil pengukuran dengan kapasitansi meter yang selanjutnya dilakukan perhitungan konstanta dielektrik.

Tampilan nilai uji kapasitansi dengan alat ukurnya ditunjukkan pada Gambar 6. Untuk pengukurannya dan data hasil pengukuran konstanta dielektrik sampel 1- sampel 5 dapat dilihat pada Tabel 5.

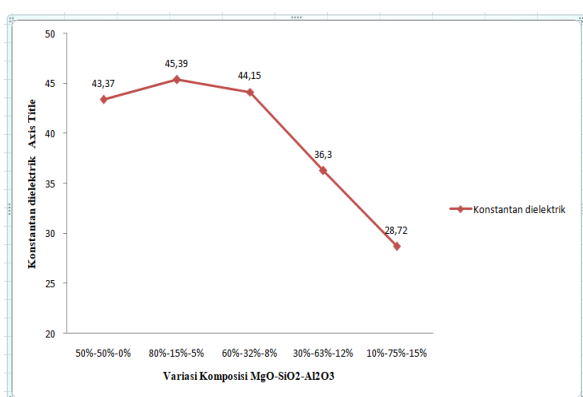


Gambar 6. Tampilan nilai uji kapasitansi dengan alat ukurnya

Tabel 5. Data hasil pengukuran konstanta dielektrik

Variasi Komposisi MgO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃	Kapasitansi	Diameter d (m)	Luas A (m ²)	$\epsilon = C \frac{d}{A}$	$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$
50%-50%-0%	4,53.10 ⁻¹²	15.10 ⁻³	1,17.10 ⁻⁴	38,39.10 ⁻¹¹	43,37
80%-15%-5%	4,74.10 ⁻¹²	15.10 ⁻³	1,17.10 ⁻⁴	40,17.10 ⁻¹¹	45,39
60%-32%-8%	4,61.10 ⁻¹²	15.10 ⁻³	1,17.10 ⁻⁴	39,07.10 ⁻¹¹	44,15
30%-63%-12%	3,79.10 ⁻¹²	15.10 ⁻³	1,17.10 ⁻⁴	32,12.10 ⁻¹¹	36,30
10%-75%-15%	3,00.10 ⁻¹²	15.10 ⁻³	1,17.10 ⁻⁴	25,42. 10 ⁻¹¹	28,72

Berdasarkan data dalam Tabel 5. di atas selanjutnya dibuat Grafik hubungan antara konstanta dielektrik dengan variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃.



Gambar 7. Grafik hubungan antara konstanta dielektrik dengan variasi komposisi keramik

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃ dengan konstanta dielektrik. Bertambahnya nilai konstanta dielektrik dari variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃ disebabkan oleh semakin besarnya variasi komposisi MgO.

Dikarenakan magnesium oksida (MgO) merupakan keramik elektronik yang materialnya memiliki sifat dielektrik dan mampu menyimpan muatan listrik karena dalam pembentukan ikatan MgO terjadi perpindahan elektron sehingga MgO merupakan salah satu jenis bahan keramik yang digunakan untuk isolator listrik. (Utomo, 2013).

Dalam hal ini dapat kita ketahui apabila apabila kadar MgO meningkat maka nilai konstantan dielektrik semakin besar. Namun meningkatnya kadar MgO menyebabkan banyak pori-pori besar yang muncul sehingga

menyebabkan pori-pori semakin banyak dan nilai kekerasannya rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Meningkatnya nilai konstanta dielektrik dari variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃ disebabkan oleh semakin besarnya variasi komposisi MgO. Jadi apabila kadar MgO meningkat maka nilai konstantan dielektrik semakin besar. Namun meningkatnya kadar MgO menyebabkan banyak pori-pori besar yang muncul sehingga menyebabkan pori-pori semakin banyak dan nilai kekerasannya rendah.
2. Meningkatnya nilai Kekerasan dari variasi komposisi keramik MgO-SiO₂-Al₂O₃ disebabkan oleh semakin besarnya variasi komposisi SiO₂-Al₂O₃. Apabila kadar SiO₂-Al₂O₃ meningkat maka nilai kekerasan semakin besar dan jumlah pori-pori semakin berkurang. Dan apabila pada mikrostruktur jumlah pori-pori semakin berkurang, maka nilai kekerasan cenderung naik.
3. Dari antara 5 sampel yang telah diteliti, sampel yang paling baik digunakan untuk diaplikasikan sebagai bahan kapasitor keramik dimana memiliki nilai sifat keras 45.98 dan nilai konstanta dielektrik 44,15 adalah sampel 3, karena memiliki nilai konstantan dielektrik yang cukup baik, nilai kekerasan yang sedang, dan mikrostruktur jumlah pori-pori yang tidak terlalu banyak.

Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan disarankan agar:

1. Untuk penelitian pembuatan keramik oksida selanjutnya disarankan agar membuat variasi bahan $MgO-SiO_2-Al_2O_3$ yang dapat meningkatkan sifat kekerasan.

Untuk proses pencetakan bahan keramik oksida dalam metode cetak tekan perlu diperhatikan kuat tekanan yang diberikan pada bahan yang digunakan karena sangat berpengaruh terhadap sifat mekaniknya.

DAFTAR PUSTAKA

Inkson, B.J. (2016). Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization. *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. 17-43

Maharani A, Sembiring S, dan Suroto BJ. (2017). Pengaruh Penambahan Periclase (0,10,15)% terhadap Karakteristik Struktur dan Kekerasan Kordierit. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, Vol. 5, No. 1, 2017: 77-82

Nurmasyitah. (2017). Penentuan konstanta dielektrik akrilik. *Jurnal Jeumpa*. 4(2). desember

Nurzal dan Antonio Eko Saputra.N. (2013). *Pengaruh komposisi fly ash dan suhu sinter terhadap kekerasan pada manufacture keramik lantai*. FTI – Institut Teknologi Padang.

Ponikam D.K. (2018). Analisis materialisolator busi panas dengan busi dingin menggunakan perangkat lunak match powder diffraction. *Mesa Jurnal FT Universitas Subang*. ISSN : 23-55-9241. Vol 2, No 2.

Prinsip Kerja uji kekerasan. Diakses april 2021, dari ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/besi-baja-iron-steel/pengujian-sifat-mekanik-bahan-logam/pengujian-sifat-mekanik-kekerasan-bahan-logam-baja/

Raharjo, Jaror,. Rahayu, S,. & Mustika, T. (2015). Pengaruh tingkat kemurnian bahan baku alumina terhadap temperatut

sintering dan karakteristik keramik alumina. *Pengembangan Teknologi kimia untuk Pengelolaan SDM Indonesia*. 1693-4393

Sobirin, M., dkk. (2016). Sintesis nanokomosit stronsium ferit-keramik porselin alumina sebagai peningkat struktur dielektrik kapasitor berbahan dasar pasir besi. *Journal of creativity students*, 1(1): p- ISSN 2502-1958.

Sutrisno (2016). Analisis kuantitatif untuk campuran korundum dan periklas dengan efek mikroabsorpsi. *Fisika-FMIPA Surabaya*, ITS.

Utomo, Hadi Priyo. (2013). *Pengaruh Lama Penggerusan terhadap Konstanta Dielektrik, kekerasan, dan Mikrostruktur Keramik Oksida SiO₂-MgO*. Skripsi Jurusan Fisika-Fakultas MIPA UM.