



Pembuatan dan pengujian sifat fisis dan mekanik keramik alumina sebagai komponen mekanik

Mohamad Nasrun^{a,1}, Sujianto Sujianto^a

^aJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1 Pamulang, Tangerang Selatan, Banten, 15417, Indonesia

¹E-mail: dosen01284@unpam.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 13 September 2020

Direvisi pada 26 September 2020

Disetujui pada 17 November 2020

Tersedia daring pada 30 November 2020

Kata kunci:

Alumina, *corundum*, *sintering*, komponen mekanik, isolator listrik, penghantar panas.

Keywords:

Alumina, corundum, sintering, mechanical components, electrical insulators, heat conductors.

ABSTRAK

Keramik alumina merupakan salah satu material yang sangat penting dan strategis untuk beragam aplikasi seperti pada komponen otomotif, komponen elektronik dan komponen mekanik, bahan *gerinding/abrasive* dan sebagai bahan untuk pembuatan *kiln furniture*. Pada penelitian ini dilakukan proses *sintering* keramik alumina dengan menggunakan bahan aditif SiO₂. Pembuatan keramik alumina dilakukan melalui proses metalurgi serbuk, yaitu digunakan bahan baku serbuk gamma alumina dan sebagai bahan aditif *sintering* digunakan silika dari gelas kaca (SiO₂ glass). Variabel penelitian yang digunakan ada dua macam, yaitu persentase penambahan aditif silika dengan variasi berat 1%, 5%, 7.5% dan 10% dan variasi suhu *sintering* 1100°C, 1200°C, 1300°C dan 1400°C. Sampel yang telah di-*sintering* selanjutnya dilakukan pengujian, antara lain uji densitas dan porositas, uji kuat tekan dan analisis XRD. Penambahan aditif dan variasi suhu *sintering* dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai densitas, porositas dan kuat tekan. Kondisi yang terbaik dari penelitian ini diperoleh pada sampel dengan aditif 10% SiO₂ dan suhu *sintering* 1400°C. Pada kondisi ini dicapai nilai maksimum densitas 2.59 g/cm³, porositas minimal 10% dan kuat tekan tertinggi dicapai sebesar 234.60 MPa. Berdasarkan hasil analisis XRD terbentuk fasa dominan *corundum* (α -Al₂O₃) dan fasa minor *tydimit* SiO₂, serta tidak terjadi reaksi antara alumina dengan aditif silika.

ABSTRACT

Alumina ceramic is one of the most important and strategic materials for various applications such as automotive components, electronic components and mechanical components, grinding / abrasive materials, and as a material for making kiln furniture. In this study, the *sintering* process of alumina ceramics was carried out using SiO₂ additives. The manufacture of alumina ceramics is carried out through a powder metallurgy process, which is used as raw material for gamma-alumina powder and as an additive for *sintering* used silica from glass (SiO₂ glass). As a research variable, two types were used, namely the percentage addition of silica additives, namely with variations of 1%, 5%, 7.5%, and 10% by weight and variations in *sintering* temperature of 1100°C, 1200°C, 1300°C, and 1400°C. The samples that have been sintered are then tested, including density and porosity test, mechanical strength test (compressive strength), and XRD analysis. The addition of additives and variations in *sintering* temperature can have a significant effect on the values of density, porosity, and compressive strength. The best conditions from this study were obtained in samples with 10% SiO₂ additive and *sintering* temperature of 1400°C. In this condition the maximum density value is 2.59 g/cm³, the minimum porosity is 10% and the highest compressive strength is 234.60 MPa. Based on the results of XRD analysis, a dominant phase of corundum (α -Al₂O₃) and a minor phase of tydimit SiO₂ was formed, and there was no reaction between alumina and silica additive.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9075>



1. Pendahuluan

Alumina atau disebut juga sebagai senyawa aluminium oksida dengan formula Al_2O_3 memiliki kristal polimorfi, yang artinya dapat berubah struktur kristalnya tetapi rumus kimianya tetap sama yaitu Al_2O_3 [1]. Struktur kristal alumina ada beberapa macam yaitu θ Al_2O_3 , γ Al_2O_3 , dan α Al_2O_3 [2-3]. Dari ketiga struktur kristal alumina tersebut, yang paling stabil pada suhu ruang sampai suhu tinggi adalah α Al_2O_3 yang disebut pula dengan nama korundum. Korundum memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, bersifat isolator listrik, penghantar panas yang baik, memiliki kekerasan yang tinggi (Hv: 800-1200 kgf/mm²), tahan panas sampai suhu 1500°C [2, 4]. Berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki tersebut, maka keramik alumina atau korundum banyak digunakan sebagai komponen mekanik (*bearing* dan baut), komponen mesin (otomotif), *grinding ball*, sebagai bahan *abrasive*, biomaterial, dan sebagai *kiln furniture* tungku pembakaran [4, 5]. Bahan baku keramik alumina cukup banyak tersedia di dalam negeri yaitu dalam bentuk mineral alam misalnya mineral bauksit dan mineral kaolin. Kandungan alumina pada bauksit bisa mencapai 70 – 80%, sedangkan pada mineral kaolin terdapat kandungan sekitar 70% alumina [6]. Keramik alumina sebagai komponen mekanik dan komponen elektronik untuk kebutuhan industri di Indonesia masih diimport 100%, padahal bahan baku di dalam negeri tersedia cukup banyak. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang manufaktur pembuatan keramik alumina. Permasalahan utama dalam manufaktur keramik alumina adalah proses *sintering* (pembakaran) yang memerlukan suhu yang sangat tinggi mendekati titik leburnya yaitu sekitar 1600°C [7]. Penggunaan suhu yang sangat tinggi tersebut akan memerlukan energi yang sangat tinggi sehingga berdampak terhadap peningkatan biaya produksi. Ada beberapa parameter yang dapat menurunkan suhu *sintering* tetapi sifat-sifat unggul dari keramik alumina masih dapat dipertahankan, antara lain melalui penggunaan bahan yang lebih halus mendekati ukuran nano, memperlama waktu *sintering* atau penambahan bahan aditif yang dapat menurunkan titik lebur alumina (SiO_2 , glass, TiO_2 , Na_2O , LiO_2 , borix acid dan metal-metal dengan titik lebur rendah) [8, 9]. Nuruzzaman *et al.* (2016) berhasil melakukan *sintering* keramik alumina pada suhu yang lebih rendah (580°C) dari proses normal *sintering* alumina melalui penambahan aditif 15% metal Al. Berdasarkan hasil risetnya menunjukkan bahwa densitas tertinggi tercapai sebesar 2,96g/cm³ dan kekerasan Vickers sebesar 24,80 Hv [7]. Thomazin *et al.* (2011) mampu menurunkan suhu *sintering* keramik alumina hingga suhu 1200°C dengan capaian tingkat kepadatan 99,20% melalui penggunaan serbuk alumina ukuran nano sekitar 56-110 nm [10].

Dalam produk keramik alumina, proses *sintering* adalah langkah paling penting dan mahal dari proses fabrikasi. Telah diketahui bahwa penambahan sejumlah kecil aditif *sintering* tertentu dapat menurunkan suhu *sintering* dari ~ 1600 hingga menjadi di bawah suhu 1400°C, sebagian besar mengurangi biaya energi dari proses tersebut [11]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif SiO_2 dan variasi suhu *sintering* terhadap sifat fisis (densitas, porositas), kuat mekanik (kuat tekan) dan struktur kristal.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Persiapan Bahan

Pembuatan keramik alumina dilakukan melalui proses metalurgi serbuk, yaitu digunakan bahan baku serbuk gamma alumina dan sebagai bahan aditif *sintering* digunakan silika dari gelas kaca (SiO_2 glass). Variabel penelitian yang digunakan dua macam, yaitu persentase penambahan aditif silika dengan variasi berat 1%, 5%, 7.5% dan 10% dan variasi suhu *sintering* 1100°C, 1200°C, 1300°C dan 1400°C.

Tahapan proses pembuatan keramik alumina meliputi penimbangan bahan baku menggunakan digital *balance* dengan massa total sebesar 30 gram, pencampuran bahan baku dan menghaluskan dengan menggunakan *ball mill* dengan waktu 24 jam dan sebagai media pencampuran digunakan aquades. Kemudian campuran serbuk yang telah halus dikeluarkan dari *ball mill*, selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pengering pada suhu 100°C selama 24 jam hingga diperoleh serbuk yang kering. Selanjutnya serbuk yang telah kering dicampur dengan bahan perekat Celuna sebanyak 3%, dan selanjutnya dicetak dengan cetak tekan (*dry pressing*). Proses pencetakan dilakukan dengan gaya tekan sebesar 10 tonf dan diperoleh Bakalan (*green compact*) dengan Ø18 mm dan ketebalan sekitar 6 mm. Selanjutnya bakalan (*green compact*) yang dihasilkan, di-*sintering* menggunakan tungku listrik pada suhu 1100°C, 1200°C, 1300°C dan 1400°C dengan waktu penahanan selama 1 jam dan kenaikan suhu *sintering* sebesar 5°C/menit. Sampel yang telah di-*sintering* selanjutnya dilakukan pengujian, antara lain uji densitas dan porositas, uji mekanik (kuat tekan) dan analisis XRD.

Pengujian densitas dan porositas dilakukan menggunakan metode Archimedes. Perhitungan densitas dan porositas digunakan persamaan berikut [12]:

$$\rho = \frac{m_k}{m_g - m_k + m_{kwt}} \times \rho_{air} \quad (1)$$

$$P = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:

ρ = Densitas

P = Porositas

m_k = Massa sampel pada kondisi kering (g)

m_g = Massa sampel di gantung di dalam air (g)

m_{kwt} = Massa kawat sebagai penggantung sampel (g)

ρ_{air} = Massa jenis air (g/cm³)

m_b = Massa sampel Bakalan (*green compact*) setelah direndam di dalam air selama 24 jam (g).

Sedangkan bahan baku yang digunakan antara lain:

- Sebuk alumina
- Sebuk silika SiO_2
- Aquades.

2.2. Proses Pembuatan Keramik Alumina

Tahapan-tahapan proses pembuatan keramik alumina adalah sebagai berikut:

- a. Proses pengeringan bahan yang telah di-*milling* dilakukan selama 24 jam dengan menggunakan oven pengering pada suhu 100°C selama 24 jam. Lumpur campuran alumina dan silika dihasilkan selama pencampuran 24 jam diperoleh campuran basah seperti pada Gambar 1 sebagai berikut.



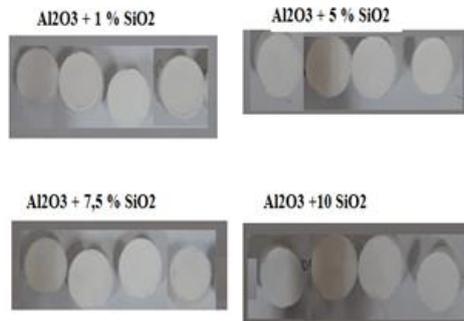
Gambar 1. Lumpur campuran alumina.

Selanjutnya bahan tersebut dikeringkan di dalam oven selama 24 jam pada suhu 100°C diperoleh campuran serbuk kering seperti pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Campuran serbuk kering.

- b. Proses pengukuran distribusi ukuran partikel untuk sampel dengan penambahan 5% silika SiO₂. Diperoleh distribusi ukuran partikel campuran serbuk Al₂O₃ + 5% SiO₂ yang telah di-*milling* selama 24 jam.
- c. Proses pencetakan bubuk campuran alumina menjadi bentuk pelet berukuran diameter 18 mm dengan menggunakan mesin *hidraulik press* dan *dies mould*. Hasil dari pencetakan diperoleh sampel pelet seperti pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Sampel pelet.

- d. Proses pembakaran (*sintering*) pada suhu 1100°C, 1200°C, 1300°C dan 1400°C menggunakan tungku listrik. Waktu penahanan yaitu 1 jam. Sampel hasil *sintering* disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sampel hasil *sintering*

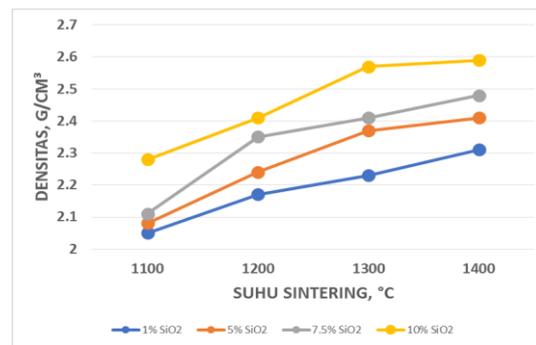
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran densitas sampel yang telah di-*sintering* berbagai suhu dan dengan penambahan aditif 1% , 5% , 7.5% dan 10% berat SiO₂ diperlihatkan pada Tabel 1 dan Gambar 5.

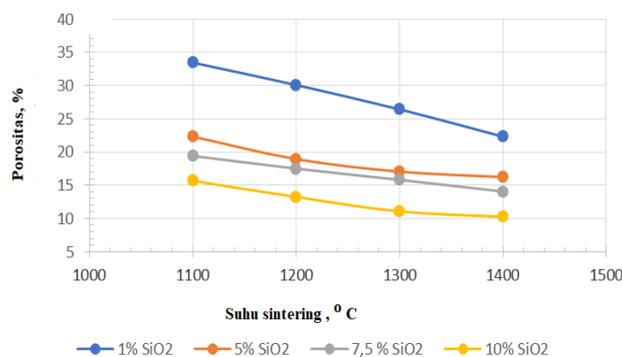
Tabel 1. Nilai densitas sampel Bakalan (*green compact*) yang telah di-*sintering*.

Suhu Sintering (°C)	Nilai densitas (g/cm ³)			
	1% SiO ₂	5% SiO ₂	7.5 % SiO ₂	10% SiO ₂
1100	2.05	2.08	2.11	2.28
1200	2.17	2.24	2.35	2.41
1300	2.23	2.37	2.41	2.57
1400	2.31	2.41	2.48	2.59

Berdasarkan hasil pengukuran densitas seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 2 yaitu kurva hubungan densitas terhadap komposisi SiO₂, maka diperoleh bahwa semakin tinggi suhu *sintering* dan semakin besar penambahan aditif SiO₂ maka densitas sampel pelet cenderung meningkat.

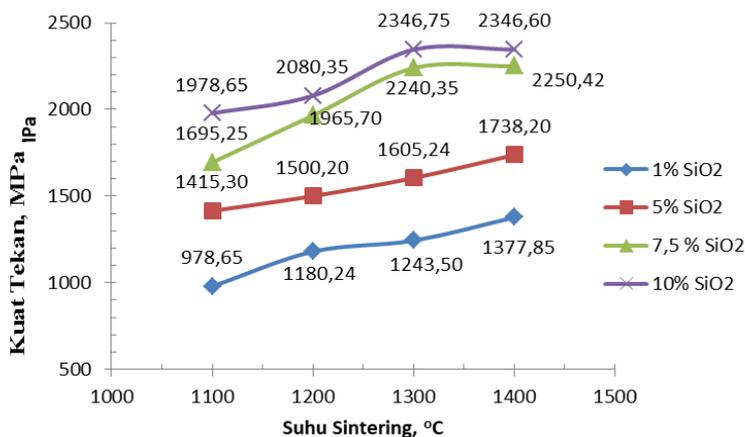
Gambar 5. Kurva hubungan densitas sampel Bakalan (*green compact*) terhadap komposisi SiO₂

Untuk sampel dengan suhu *sintering* pada suhu 1100°C dan 1200°C dengan aditif 1% dan 5% SiO₂ diperoleh nilai densitasnya masih rendah, yaitu sekitar 2.05 g/cm³ – 2.41 g/cm³, dan nilai densitas tertinggi dicapai pada suhu *sintering* 1300°C - 1400°C pada komposisi 10% SiO₂ yaitu masing-masing nilai densitasnya adalah 2.57 g/cm³ dan 2.59 g/cm³. Hal ini dikarenakan bahwa pada suhu 1100°C dan 1200°C belum terjadi proses *sintering* yang optimal. Sedangkan sampel yang telah di-*sintering* pada suhu 1300°C - 1400°C telah mencapai proses *sintering* yang optimal yang ditandai dengan tercapainya densitas tertinggi. Bila dibandingkan dengan densitas teoritis keramik Al₂O₃ (alumina) sekitar 3.95 g/cm³ [4], maka nilai yang dicapai hasil penelitian ini masih lebih rendah.



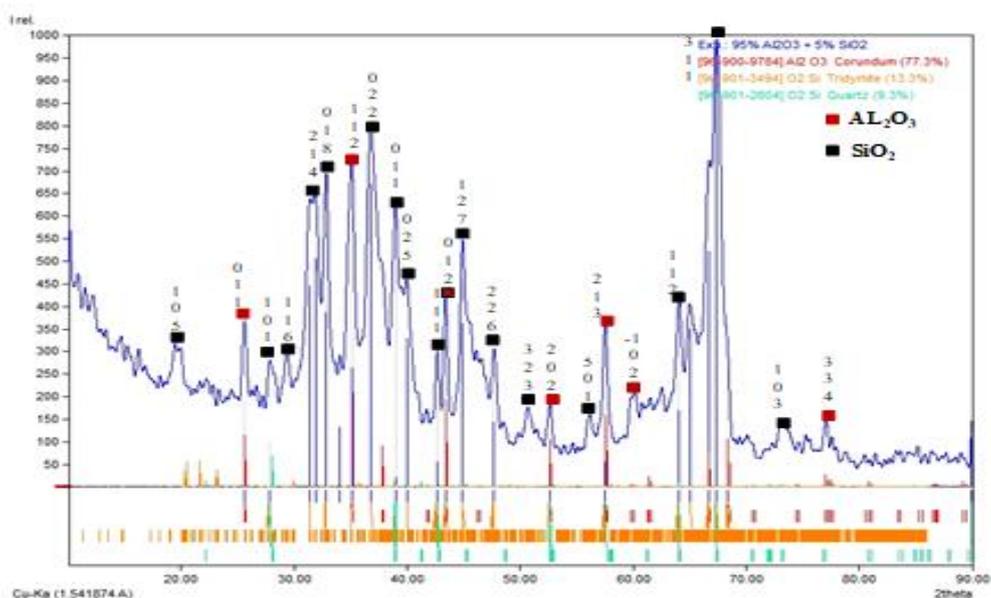
Gambar 6. Kurva hubungan porositas terhadap suhu sintering

Berdasarkan hasil yang diperlihatkan pada Gambar 6, didapatkan bahwa nilai porositas cenderung menurun dengan meningkatnya suhu sintering, hal ini sesuai dengan teorema proses sintering keramik yaitu hubungan densitas dan porositas terbalik terhadap fungsi suhu sintering [13]. Nilai porositas terendah dicapai pada suhu 1400°C dengan aditif 10% SiO₂ yaitu sebesar 10% serta pada suhu 1300°C sebesar 11%. Hasil pengukuran kuat tekan menggunakan menggunakan alat *universal testing machine* (UTM) dari sampel yang telah di-*sintering* berbagai suhu diperlihatkan pada Gambar 7, terlihat bahwa semakin tinggi suhu *sintering* dan semakin besar aditif SiO₂, maka nilai kuat tekan cenderung meningkat. Hal ini sesuai dengan nilai densitas, yaitu jika densitas semakin padat maka semakin kuat tekannya. Nilai kuat tekan tertinggi dicapai pada sampel dengan aditif 10% SiO₂ dan suhu *sintering* 1300°C dan 1400°C, dimana masing-masing nilainya adalah 2346.75 MPa dan 2346.60 MPa. Bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan referensi, yaitu kuat tekan alumina sebesar 3000 – 5000 MPa [4], yang di-*sintering* pada suhu 1500-1600°C ternyata masih lebih rendah, perbedaannya suhu *sintering* yang dilakukan pada penelitian ini masih lebih rendah.



Gambar 7. Kurva hubungan kuat tekan terhadap variasi suhu *sintering*.

Hasil analisis XRD menggunakan XRD Rigaku dan diolah menggunakan *software match* diperlihatkan pola difraksinya sampel yang di-*sintering* 1400°C dan ditambah aditif 10% SiO₂ seperti terlihat pada Gambar 8. Dipilihnya hanya sampel tersebut karena dari hasil pengukuran densitas, porositas dan kuat tekan maka sampel dengan aditif 10% SiO₂ memiliki nilai yang tertinggi.



Gambar 8. Pola difraksi sinar X dari sampel dengan aditif 10% SiO₂ dan suhu *sintering* 1400°C.

Berdasarkan pola difraksi sinar X yang diperlihatkan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa teridentifikasi fasa dominan adalah fasa *corundum* (α -Al₂O₃) dengan fasa minor adalah *tridymite* SiO₂. Berdasarkan hasil identifikasi fasa bahwa tidak terjadi reaksi antara alumina dengan silika untuk membentuk fasa baru. Tentunya penggunaan aditif SiO₂ pada *sintering* Al₂O₃ sangat tergantung pada jenis SiO₂ yang digunakan, dimana pada penelitian ini digunakan SiO₂ dari sumber gelas kaca. Karena gelas kaca memiliki reaktifitas pada Al₂O₃ yang sangat rendah sehingga pada proses *sintering* tidak terjadi reaksi dengan alumina. Bila digunakan SiO₂ dari sumber lain misalnya pasir silika atau *glass bead* maka akan terjadi reaksi dengan Al₂O₃ membentuk senyawa atau fasa baru yaitu fasa mullit 3 Al₂O₃ 2 SiO₂ [14].

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pembuatan dan pengujian sifat fisis dan sifat mekanik keramik alumina sebagai komponen mekanik, dapat disimpulkan bahwa penambahan aditif dan variasi suhu *sintering* dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai densitas, porositas dan kuat tekan. Kondisi terbaik dari penelitian ini diperoleh pada sampel dengan aditif 10% SiO₂ dan suhu *sintering* 1400°C. Pada kondisi ini dicapai nilai maksimum densitas adalah 2.59 g/cm³, porositas minimal 10% dan kuat tekan tertinggi dicapai sebesar 234.60 MPa. Berdasarkan hasil analisa XRD terbentuk fasa dominan *corundum* (α -Al₂O₃) dan fasa minor *tridymite* SiO₂, serta tidak terjadi reaksi antara alumina dengan aditif silika.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini, terlebih kepada Bpk. Sujianto (Sebagai anggota), Universitas Pamulang, Ristekdikti yang telah mensponsori pendanaan sehingga penelitian ini bisa selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mawardani, P. (2014). Pengaruh Kemurnian Bahan Baku Alumina Terhadap Temperatur *Sintering* dan Karakterisasi Keramik Alumina [thesis]. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- [2] Grigoriev, M. V., & Kulkov, S. N. (2016). Structures and properties of alumina-based ceramic for reconstructive oncology. *AIP Conference Proceedings*, vol. 1760, no. 1. doi: 10.1063/1.4960241.
- [3] Fujiwara, S., Tamura, Y., Maki, H., Azima, N., & Takeuchi, Y. (2007). Development of new high-purity alumina. *Sumitomo Kagaku*, vol. I
- [4] Ramlan, R., Ginting, M., Muljadi, M., & Sebayang, P. (2007). Pembuatan keramik beta alumina ($\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3$) dengan aditif MgO dan kerakterisasi sifat fisis serta struktur kristalnya. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, vol. 7, no. 1, pp. 10-15.
- [5] Boch, P., & Niepce, J. P. (2007). *Ceramic Materials Processes, Properties and Applications*. USA: ISTE.
- [6] Istiqomah, D. S., Kirom, M. R., Abrar, & Syarif, D. G. (2016). Sintesis Al_2O_3 nanopartikel dari bahan bijih bauksit untuk aplikasi pada model radiator. *E-Proceeding of Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 2108-2115.
- [7] Nuruzzaman, D. M., Kamaruzaman, F. F., & Azmi, N. M. (2016). Effect of sintering temperature on the properties of aluminium-aluminium oxide composite materials. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, vol. 1, no. 2, pp. 59-64.
- [8] Guo, D., & Liu, S. (2016). Effect of nanopowder addition on the flexural strength of alumina ceramic: a Weibull model analysis. *Ceramics-Silikáty*, vol. 60, no. 2, pp. 99-104.
- [9] Raharjo, J., Rahayu, S., & Mustika, T. (2015). Pengaruh tingkat kemurnian bahan baku alumina terhadap temperatur sintering dan karakteristik keramik alumina. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan": Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia* Yogyakarta, pp. B14:1-7. ISSN: 1593-4393.
- [10] Thomazin, D., Gelfuso, M. V., Chinelatto, A. S. A., Chinelatto, A. L., Sanson, F. K., & Neto, F. T. (2011). Alumina ceramics obtained by chemical synthesis using conventional and microwave *sintering*. *Cerâmica*, vol. 57, no. 341, pp. 45-49.
- [11] Pawar, P., Ballav, R., & Kumar, A. (2015). An overview of machining process of alumina and alumina ceramic composites. *Manufacturing Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 10-15.
- [12] Kesharaju, M., & Nagarajah, R. (2014). Determination of density variation and microstructure in reaction-sintered SiC ceramics using ultrasonic time-of-flight. *Applied Ceramic Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 303-310.
- [13] Sijabat, K. 2008. Pembuatan Keramik Paduan Cordierit-Alumina Sebagai Bahan Refraktori dan Karakterisasinya [master thesis]. Medan: University of Sumatera Utara Institutional Repository (USU-IR).
- [14] Suprapedi, Muljadi, & Sardjono, P. (2018). The characterization of ceramic alumina prepared by using additive glass beads. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 299, pp. 012043.