



DOI: <https://doi.org/10.38035/jsmd.v4i1>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pengaruh Rasio Aluminium Slag Dengan Fly Ash Pada Pembuatan Keramik Melalui Metode Sintering Temperatur 1200 °C

Adi Prastyo¹, Beny Hartawan², Teuku Marjuni³, R. Agung Efriyo Hadi⁴

¹Universitas Malahayati, Bandar Lampung, adiprastyo@malahayati.ac.id

²Universitas Malahayati, Bandar Lampung, benyhartawan@malahayati.ac.id

³Universitas Malahayati, Bandar Lampung, marjuni@malahayati.ac.id

⁴Universitas Malahayati, Bandar Lampung, efryo@malahayati.ac.id

Corresponding Author: adiprastyo@malahayati.ac.id¹

Abstract: *The effect of aluminum slag to fly ash ratio on ceramic production through sintering method at 1,200°C has been studied. Fly ash was obtained from Tarahan power plant waste while aluminum slag was obtained from aluminum re-casting. The ratio of fly ash to aluminum slag was 2:3, 1:1, and 3:2 in weight ratio. Ceramic production begins with the process of mixing raw materials added with 500 mL of distilled water and 2M concentrated HCl. Molded using a hydraulic press machine with a pressure of 100 Kg/cm². Then oven-dried at 200°C for 6 hours followed by sintering at 1,200°C for 4 hours in a muffle furnace. Characterization was carried out using X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), and Vickers hardness and density testing. The results showed that increasing the fly ash ratio in the mixture resulted in an increase in SiO₂ content and a decrease in Al₂O₃ in ceramic products. The main crystal phases formed were mullite, clinozoisite, and quartz. The hardness of the ceramics increased with the addition of fly ash, with the highest hardness value of 171.3 Hv achieved at 60% fly ash. However, increasing fly ash also caused a decrease in the density of the ceramics to 1.63 g/cm³. The mullite and clinozoisite phases resulted in an increase in the mechanical strength of the ceramic products. This study shows that fly ash and aluminum slag waste have great potential as environmentally friendly ceramic raw materials, but composition optimization is needed to obtain an optimal combination of mechanical and physical properties.*

Keywords: *Fly Ash, Aluminum Slag, Ceramics, Sintering, Mullite, Clinozoisite*

Abstrak: Telah dipelajari pengaruh rasio aluminium slag dengan fly ash pada pembuatan keramik melalui metode sintering pada temperatur 1.200 °C. Fly ash diperoleh dari limbah PLTU tarahan sedangkan aluminium slag diperoleh dari pengecoran ulang aluminium. Rasio penambahan fly ash terhadap aluminium slag adalah 2:3, 1:1, dan 3:2 dalam perbandingan berat. Pembuatan keramik diawali dengan proses pencampuran bahan baku ditambahkan 500 mL aquades dan 2M HCl pekat. Dicetak menggunakan mesin press hidrolik dengan tekanan 100 kg/cm². Selanjutnya dioven pada temperatur 200°C selama 6 jam dilanjutkan proses sintering pada temperatur 1.200°C selama 4 jam pada sebuah muffle furnace. Karakterisasi dilakukan menggunakan X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), serta pengujian kekerasan Vickers dan densitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rasio fly ash

dalam campuran menyebabkan kenaikan kandungan SiO_2 dan penurunan Al_2O_3 pada produk keramik. Fasa kristal utama yang terbentuk adalah mullite, clinozoisite, dan kuarsa. Kekerasan keramik meningkat seiring dengan penambahan fly ash, dimana nilai kekerasan tertinggi sebesar 171,3 HV dicapai pada komposisi 60% fly ash. Namun, peningkatan fly ash juga menyebabkan penurunan densitas keramik hingga $1,63 \text{ g/cm}^3$. Fasa mullite dan clinozoisite berdampak pada peningkatan kekuatan mekanik produk keramik. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah fly ash dan aluminium slag berpotensi besar sebagai bahan baku keramik ramah lingkungan, namun diperlukan optimasi komposisi agar diperoleh kombinasi sifat mekanik dan fisik yang optimal.

Kata Kunci: Fly Ash, Aluminium Slag, Keramik, Sintering, Mullite, Clinozoisite

PENDAHULUAN

Keramik merupakan material yang biasanya dibuat dari bahan tanah liat yang dipanaskan pada suhu tinggi dan digunakan di berbagai bidang seperti bidang konstruksi, industri, bidang otomotif, hingga bidang keteknikan. Keramik biasanya memiliki karakteristik tahan terhadap suhu tinggi dan memiliki kekerasan yang tinggi untuk menjaganya tidak mengalami kerusakan selama penggunaan. Beberapa penelitian terdahulu telah mempelajari pembuatan keramik dari perpaduan bahan berbasis silika (Si) dan alumina (Al). Nasrun & Sujianto, (2020) menambahkan additive silika glass dengan konsentrasi 1 – 10% dengan variasi suhu 1100°C hingga 1400°C . Dari penelitian tersebut diperoleh keramik dengan kuat tekan tertinggi 234 MPa dengan fasa kristal dominan corundum. Namun disebutkan bahwa tidak terjadi reaksi antara silika dengan Alumina. Penelitian lainnya menambahkan abu vulkanik sebagai bahan pembuatan keramik alumina silikat. Dari hasil penelitian disebutkan bahwa kekerasan tertinggi diperoleh ketika temperature sintering pada 1200°C dengan nilai 807 N/mm^2 namun sampel tersebut mengalami deformasi (Aji, 2017). Efek penambahan silika juga dipelajari terhadap karakteristik keramik. Penambahan pasir silika sebanyak 10% pada suhu sintering 1500°C menghasilkan kekerasan keramik sebesar 780 HV dengan fasa korundum.

Berdasarkan uraian diatas, jelas bahwa konsentrasi penambahan silika memainkan peran penting yang mempengaruhi karakteristik keramik yang dihasilkan. Bahan dasar silika yang ditambahkan juga mempengaruhi pemilihan temperatur optimum untuk memperoleh keramik dengan kekerasan yang tinggi tanpa adanya deformasi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipelajari tentang pengaruh penambahan silika yang berasal dari fly ash terhadap karakteristik keramik yang melalui proses sintering temperature 1200°C . Fly ash dipilih karena merupakan sumber silika yang berlimpah dari aktivitas pembangkit listrik batubara (Andarini dkk., 2018; Caroles, 2019; Hanum & Rahayu, 2022). Selain fly ash sebagai sumber silika, pada penelitian ini juga digunakan aluminium slag dari limbah aktivitas pengecoran aluminium scrap. Aluminium slag merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh sumber alumina (Singh dkk., 2016; Meshram dkk., 2019).

METODE

Proses pembuatan keramik menggunakan desain eksperimen pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain eksperimen penelitian

Kode Sampel	Fly Ash (% berat)	Aluminium Slag (% berat)	Temperatur ($^\circ\text{C}$)
3	40	60	1200
5	50	50	1200

7	60	40	1200
---	----	----	------

Karakteristik keramik

X-ray fluorescence (XRF) digunakan untuk mengetahui unsur pada material baik untuk raw material maupun produk keramik yang telah dibuat. Sedangkan x-ray diffract (XRD) digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk pada keramik. Kekerasan keramik diuji menggunakan metode Vickers pada tekanan 1n selama 12 detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keramik yang telah berhasil dibuat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1

Gambar 1. Keramik dari bahan baku aluminium slag dan fly ash

Komposisi kimia bahan baku aluminium slag dan fly ash ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia bahan penyusun keramik

Unsur	Aluminium Slag	Fly Ash
SiO ₂	17,3	49,0
Al ₂ O ₃	67,8	22,5
TiO ₂	0,4	1,9
Fe ₂ O ₃	5,8	13,3
CaO	3,4	8,6
MnO	0,3	0,2
ZnO	0,4	0,1
K ₂ O	0,5	1,3
P ₂ O ₅	0,7	0,9
Lainnya	3,4	2,2

Aluminium slag memiliki unsur dominan Al₂O₃ sebanyak 67,8% dan silika 17,3%. Komposisi dominan Al₂O₃ yang digunakan dalam penelitian ini tidak jauh berbeda dari aluminium slag yang digunakan pada penelitian lainnya namun dengan kandungan SiO₂ dan Fe₂O₃ yang lebih tinggi (Sholekah, 2022). Kandungan SiO₂ dan Fe₂O₃ yang tinggi ini disebabkan oleh jenis bahan baku yang digunakan pada saat peleburan aluminium. Dari hasil uji unsur Fly ash pada tabel 2 dapat diketahui jenis FA yang digunakan. Berdasarkan standar klasifikasi ASTM, FA yang memiliki kandungan CaO sekitar 10% merupakan jenis F (Alterary & Marei, 2021).

Komposisi kimia produk keramik yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 3

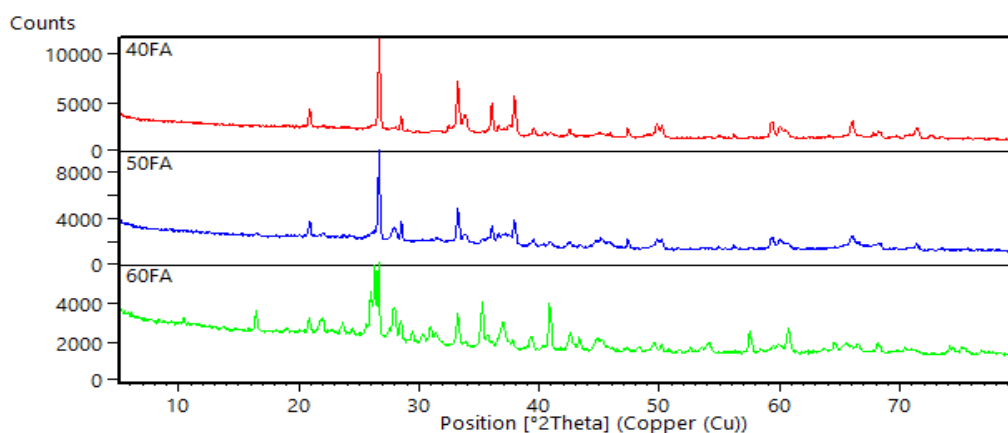
Tabel 3. Komposisi kimia bahan penyusun keramik

Unsur	40 % FA	50% FA	60% FA
-------	---------	--------	--------

SiO ₂	39,8	41,0	43,2
Al ₂ O ₃	40,4	38,8	37,1
TiO ₂	1,3	1,4	1,32
Fe ₂ O ₃	9,53	9,9	10,0
CaO	4,6	4,8	4,2
MnO	0,2	0,2	0,2
K ₂ O	0,9	0,9	0,9
P ₂ O ₅	0,8	0,7	0,7
Lainnya	2,4	2,3	2,4

Berdasarkan tabel 2, terjadi peningkatan maupun penurunan kandungan unsur keramik yang telah dibuat. Terlihat bahwa kandungan SiO₂ meningkat seiring dengan penambahan FA dari 39,8% meningkat menjadi 43,2%. Keberadaan SiO₂ ini sangat penting karena berpengaruh terhadap pembentukan fasa cair di dekat batas butir yang dapat mempercepat transportasi massa dan meningkatkan sintering. SiO₂ juga berfungsi mengurangi porositas dan meningkatkan densitas keramik, serta secara efektif mengurangi suhu sintering (Hu dkk., 2021). Komposisi kimia Al₂O₃ semakin menurun dari 40,4% menjadi 37,1% seturut dengan penambahan FA dari 40% menjadi 60%. Penurunan ini dapat dipahami bahwa penambahan FA memiliki komposisi dominan SiO₂ sedangkan Al₂O₃ semakin berkurang dengan berkurangnya konsentrasi aluminium slag. Sedangkan unsur lainnya seperti TiO₂, Fe₂O₃ dan CaO tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Komparasi hasil uji XRD keramik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan fasa kristal yang terbentuk ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 2. Komparasi hasil uji XRD 40% FA, 50% FA, dan 60% FA

Tabel 4. Fasa kristal yang terbentuk pada produk keramik

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score
96-900-9667	Quartz	Si ₃ O ₆	72
96-900-1323	Mullite	Al ₄ Si ₁ O ₉	31
96-900-1803	Clinozoisite	Ca ₄ Si ₆ Al ₅	18

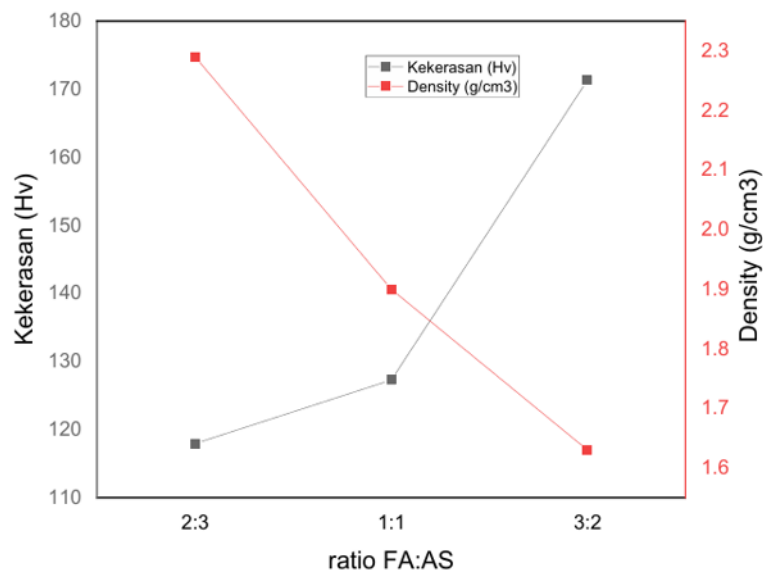
Fasa kristal yang terbentuk dari produk keramik dengan bahan dasar fly ash dan aluminiu dross terdiri dari fasa quartz, mullite dan clinozoisite. Fasa kuarsa merupakan fasa kristal padat yang terbentuk dari silikon dioksida (SiO₂). Fasa kuarsa dalam keramik mullite memiliki peranan penting karena dapat mempengaruhi sifat mekanik, termal, dan

kimia keramik mullite. Keberadaan fasa kuarsa dapat menyebabkan terbentuknya pori-pori dan retakan pada keramik, sehingga dapat mengurangi kekuatan mekanik dan ketahanan termalnya. Namun, jika kandungan fasa kuarsa tetap rendah, pengaruhnya dapat diabaikan (Wang dkk. 2020).

Fasa kristal mullite terdiri dari alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2) dengan rasio molar 3:2 dan umum digunakan dalam aplikasi industri karena memiliki ketahanan suhu dan ketahanan korosi yang tinggi. Fasa kristal mullite merupakan kristal padat yang terbentuk dari gabungan alumina dan silika, dengan struktur kristal yang stabil dan kuat. Menurut Chen et al (2020), fasa mullite terbentuk melalui proses pembakaran suhu tinggi. Selama proses pembakaran, alumina dan silika bereaksi membentuk fasa mullite dengan struktur kristal yang stabil. Fasa mullite yang dominan pada keramik menunjukkan sifat mekanik yang kuat, tahan abrasi, dan tahan terhadap korosi dan suhu tinggi. Oleh karena itu, keramik mullite dengan fasa mullite sering digunakan pada aplikasi yang membutuhkan sifat-sifat tersebut, seperti pada industri refraktori, industri semen, dan pembuatan katalis (Chen dkk., 2020).

Fasa kristal Clinozoisite merupakan mineral sorosilikat dari kelompok epidote dengan struktur kristal monoklinik yang terbentuk dari reaksi antara kalsium (CaO), aluminium (Al_2O_3), silika (SiO_2), dan besi (Fe_2O_3) selama proses pembakaran. Fasa kristal Clinozoisite memberikan pengaruh terhadap kekuatan tekan karena struktur kristalin yang padat dari Si-O-Al. namun unsur Fe tidak boleh terlalu dominan agar tidak mengurangi kekuatan keramik (Meltri K. Funuk dkk., 2023). Disisilain, fasa kristal clinozoisite tahan terhadap reaksi asam-basa sehingga meningkatkan ketahanan keramik pada lingkungan korosif (Luo dkk., 2021).

Hasil pengujian kekerasan (Hv) dan densitas ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian kekerasan dan densitas produk keramik dengan rasio fly ash vs Aluminium slag

Berdasarkan hasil pengujian, kekerasan (Hv) prosuk keramik meningkat seiring dengan peningkatan penambahan fly ash. Kekerasan keramik dengan penambahan fly ash 40% memiliki kekerasan sebesar 117,9 Hv menjadi 171,3 Hv saat fly ash ditambahkan sebanyak 60%. Kekerasan keramik ini meningkat sebesar 45%. Berbanding terbalik dengan kekerasan, densitas keramik justru menurun seiring dengan penambahan fly ash yang semakin besar. Penambahan fly ash sebesar 40% menghasilkan densitas sebesar 2,29 g/cm³ dan turun ketika

fly ash ditambahkan sebanyak 60% menjadi 1,63 g/cm³. Terjadi penurunan densitas sebesar 28%. Penambahan konsentrasi fly ash menyebabkan peningkatan terbentuknya fasa *glass* dan porositas, sehingga densitas keramik turun (Rajamannan dkk., 2013). Menurunnya densitas ini disebabkan oleh ketidakstabilan reaksi antara SiO₂ dengan Al₂O₃ (Sokolar & Nguyen, 2021).

KESIMPULAN

Penambahan fly ash pada pembuatan keramik dengan metode sintering pada suhu 1200°C memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan fisik keramik yang dihasilkan. Peningkatan rasio fly ash dari 40% hingga 60% menyebabkan kenaikan kandungan SiO₂ dalam keramik, yang berkontribusi pada pembentukan fasa kristal mullite dan clinozoisite. Hal ini berdampak positif terhadap peningkatan kekerasan keramik, di mana nilai kekerasan Vickers meningkat sebesar 45% dari 117,9 Hv menjadi 171,3 Hv. Namun, seiring dengan meningkatnya kandungan fly ash, densitas keramik justru mengalami penurunan sebesar 28%, dari 2,29 g/cm³ menjadi 1,63 g/cm³. Penurunan densitas ini disebabkan oleh peningkatan porositas dan terbentuknya fase glass akibat ketidakstabilan reaksi antara SiO₂ dan Al₂O₃. Selain itu, fasa kristal clinozoisite yang terbentuk juga memberikan kontribusi terhadap kekuatan tekan dan ketahanan kimia keramik, terutama pada lingkungan korosif. Dengan demikian, penambahan fly ash dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan kimia keramik, namun perlu dioptimalkan agar tidak menurunkan densitas secara signifikan. Hasil dari penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam pengembangan material keramik yang ramah lingkungan, tetapi juga membuka peluang besar untuk pengelolaan limbah industri secara berkelanjutan. Diharapkan, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan lebih lanjut dalam pemanfaatan limbah fly ash dan aluminium slag, sehingga dapat mendukung inovasi material fungsional sekaligus mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan.

REFERENSI

- Aji, F. B. (2017). *Pembuatan Dan Karakterisasi Keramik Alumina Silika Dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung* (Doctoral Dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).
- Alterary, S. S., & Marei, N. H. (2021). Fly ash properties, characterization, and applications: A review. *Journal of King Saud University-Science*, 33(6), 101536.
- Andarini, N., Haryati, T., & Yulianti, R. (2018). Pemurnian silikon (Si) hasil reduksi silika dari fly ash batubara. *Berkala Sainstek*, 6(1), 49-54.
- Caroles, J. D. S. (2019). Ekstraksi silika yang terkandung dalam limbah abu terbang batubara. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(1), 5-7.
- Chen, M., Liu, J., & Wu, Z. 2020. Effect of Fe₂O₃ Concentration on the Properties of Basalt Glasses,” *J. Nat. Fibers*, 19(1), 1–11.
- Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2022). Studi pemanfaatan dan metode pemisahan silika dari coal fly ash. *Open Science and Technology*, 2(1), 26-32.
- Hu, Y. J., Yin, Z. Q., Gong, Y. B., Yang, Z. G., Yang, Z. P., Liang, Y. C., ... & Zhao, J. J. (2021). Enhancing microstructural properties of alumina ceramics via binary sintering aids. *Journal of Central South University*, 28(12), 3705-3713.
- Luo, Y., Wang, J., Wu, Y., Li, X. Y., Chu, P. K., & Qi, T. (2021). Substitution of quartz and clay with fly ash in the production of architectural ceramics: A mechanistic study. *Ceramics International*, 47(9), 12514-12525.

- Meshram, A., Jain, A., Rao, M. D., & Singh, K. K. (2019). From industrial waste to valuable products: preparation of hydrogen gas and alumina from aluminium dross. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 984-993.
- Nasrun, M., & Sujianto, S. (2020). Pembuatan dan pengujian sifat fisis dan sifat mekanik keramik alumina sebagai komponen mekanik. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), 249- 254.