

Studi Pengaruh Penambahan Alumina (Al_2O_3) Terhadap Sifat Mekanis dan Konduktifitas Panas Bahan Refraktori Paduan Kaolin dan Ash

Dwi Handoko¹⁾, Iyus²⁾, Masy'ari³⁾

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak
E-mail: dwihandokopb@gmail.com

Abstrak

Kaolin adalah material yang tahan terhadap pembakaran pada temperatur tinggi dan fly ash adalah limbah dari proses pembakaran pada boiler. Aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), silikon dioksida (SiO_2), kalsium karbonat, belerang dan magnesium merupakan unsur-unsur penyusun fly ash. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh paduan kaolin dan fly ash pada sifat mekanik dan konduktifitas panas. Metode yang dilakukan adalah membuat variasi paduan kaolin dan alumina variasi massa alumina (wt%): 0, 5, 10, 15, dan 20. Pengujian yang dilakukan adalah uji konduktivitas panas, kuat tekan, dan impak. Selain itu juga dilakukan uji karakterisasi dengan menggunakan SEM/EDX untuk mengetahui morfologi permukaan, persebaran unsur, dan memastikan unsur yang terkandung didalamnya. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa penambahan alumina dapat meningkatkan kekuatan tekan namun menurunkan konduktivitas panas dan kekuatan impak. Berdasarkan hasil uji EDX terlihat peningkatan unsur aluminium (Al) silika (Si) dan oksigen (O), namun unsur kalsium (Ca) mengalami penurunan. Uji SEM menunjukkan distribusi partikel dari unsur aluminium kalsium dan silika tersebar dan terdapat pori-pori di antara partikel.

Kata kunci : alumina, fly ash, kaolin, konduktivitas, sifat mekanik

Abstract

Kaolin is a material that is resistant to combustion at high temperatures and fly ash is waste from the combustion process in boilers. Aluminum oxide (Al_2O_3), iron oxide (Fe_2O_3), silicon dioxide (SiO_2), calcium carbonate, sulfur and magnesium are the constituent elements of fly ash. This study aims to determine the influence of kaolin and fly ash alloys on mechanical properties and heat conductivity. The method is to make a variation of kaolin alloy and alumina alumina mass variation (wt%): 0, 5, 10, 15, and 20. The tests carried out are heat conductivity, compressive strength, and impact tests. In addition, a characterization test was also carried out using SEM/EDX to determine the surface morphology, distribution of elements, and ensure the elements contained in it. The results showed that the addition of alumina could increase compressive strength but decrease thermal conductivity and impact strength. Based on the results of the EDX test, it was seen that the elements aluminum (Al), silica (Si) and oxygen (O) increased, but the element calcium (Ca) decreased. The SEM test showed that the distribution of particles from the elements of aluminum, calcium and silica was scattered and there were pores between the particles.

Keywords: alumina, fly ash, kaolin, conductivity, mechanical properties

1. PENDAHULUAN

Komposit adalah paduan dari dua atau lebih material yang berbeda, yang dibuat dengan menggabungkan bahan satu dan bahan lain untuk mendapatkan sifat yang lebih baik dari sifat aslinya. Komposit pada dasarnya terdiri dari material pengikat yang disebut (*matrix*) dan material penguat (*filler*). Jenis komposit yang mulai banyak dikembangkan salah satunya adalah keramik matriks komposit (*Ceramic Matrix Composite/CMC*). Keramik matriks komposit (CMC) adalah kelompok material komposit yang menggabungkan kekuatan keramik dengan ketangguhan serat dimana bahan ini memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, tahan terhadap korosi, material komposit juga dapat tahan terhadap panas. Material refraktori memiliki sifat tahan suhu tinggi dan tahan terhadap korosi, biasanya digunakan secara luas dalam industri seperti industri metalurgi, manufaktur keramik, dan produksi semen. Peningkatan kinerja bahan refraktori menjadi fokus penelitian dalam upaya mengembangkan material yang lebih tahan lama dan efisien. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik dan konduktivitas panas pada paduan kaolin dan ash adalah dengan menambahkan alumina. Paduan kaolin dan ash telah digunakan secara luas sebagai bahan refraktori karena sifat-sifat mereka yang tahan terhadap suhu tinggi. Studi menunjukkan bahwa paduan kaolin dan ash dapat digunakan untuk material refraktori yang memiliki sifat yang sangat baik. Pada penelitian Valášková menunjukkan bahwa penggunaan ash sebagai tambahan dalam kaolin dapat meningkatkan ketahanan termal dan mekanik dari material tersebut [1]. Hal ini menunjukkan bahwa paduan kaolin dan ash dapat meningkatkan kinerja material refraktori dalam berbagai aplikasi industri.

Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Kamara 2020, mereka mengeksplorasi pembuatan material refraktori dari *coal fly ash* (abu dari batu bara), kaolin yang dipurifikasi komersial, dan powder alumina [2]. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa, penambahan MgO ke alumina dan kaolin menghasilkan bahan tahan api dengan sifat mekanik yang baik dan kepadatan yang tinggi, dibandingkan dengan menambahkan $AlF_3 \cdot 3H_2O$ ke alumina dan kaolin. Alumina atau oksida aluminium, adalah senyawa kimia yang dibentuk dari kombinasi aluminium dan oksigen yang terbukti efektif dalam meningkatkan kekuatan mekanik dan mengurangi konduktivitas panas pada berbagai material komposit.

Alumina adalah bahan dengan sifat ulet yang tinggi dan cenderung stabil pada suhu tinggi, sehingga dinilai dapat dijadikan sebagai bahan paduan dalam pembuatan material refraktori.

Penambahan alumina pada bahan refraktori dapat meningkatkan kekerasan, tahanan terhadap korosi, dan tahanan terhadap suhu tinggi. Dalam penelitian Irwansyah [3], penambahan alumina terhadap refraktori alumina silikat mengakibatkan peningkatan kualitas refraktori berupa tahanan termal yang baik dengan porositas 11,36%, dan densitas sebesar 2,34 kg/m³.

Bahan refraktori adalah material yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan korosi, serta digunakan dalam aplikasi industri yang melibatkan suhu tinggi, seperti industri baja, keramik, dan semen. Bahan refraktori harus memiliki sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang tinggi, serta ketahanan terhadap kejutan panas. Bahan refraktori adalah material yang dapat menahan suhu panas yang sangat tinggi tanpa kehilangan sifat ketahanannya [4]. Bahan refraktori umumnya tergolong sebagai bahan non-logam yang memiliki refraktilitas ± 1580 °C.

Bahan refraktori dapat dibagi menjadi dua kategori besar: yang telah dibentuk sebelumnya atau komposisi yang belum dibentuk, sering disebut refraktori monolitik. Material refraktori umumnya terdiri dari unsur-unsur tanah yang dimurnikan, seperti alumina (Al₂O₃) dan silika (SiO₂). Unsur tambahan lainnya termasuk magnesium oksida (MgO), zirkonium oksida (ZrO₂), dan besi oksida (Fe₂O₃). Bahan refraktori dapat dibuat melalui berbagai cara, seperti proses pembuatan batu bata, dan digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam industri gelas, kaca, logam, dan pembakaran [5].

Kaolin (Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) adalah mineral tanah liat berwarna putih yang banyak digunakan dalam dunia industri. Dalam aplikasinya, standar yang harus dimiliki kaolin yaitu memiliki ukuran partikel yang sangat kecil (< 2 µm) terutama untuk produksi material plastik, cat, kertas, farmasi, dan kosmetik [6]. Kaolin yang baik yaitu kaolin yang bebas dari pengotor (FeO, CaCO₃, MgCO₃), karena pengotor dapat mempengaruhi kualitas produk [7]. Komponen utama dari bahan kaolin adalah kaolinit, yaitu material yang terbentuk dari dekomposisi feldspar, granit, dan aluminium silikat. Struktur kaolinit terdiri dari lapisan mineral lempung berselang-

seling dari silika tetrahedral dan aluminium oktahedral, yang membentuk perbandingan 1:1 [8].

Fly ash merupakan abu dari sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap berupa partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran dari proses pembakaran batu bara pada unit pembangkit uap/boiler [9]. Sebagian besar silika amorf, fly ash mengandung 80% alumina dan silika. Sifat-sifat fisik fly ash termasuk densitas $2,23 \text{ g/cm}^3$, kadar air sekitar 4%, dan sebagian besar terdiri dari mineral kuarsa dan mullite. Fly ash juga mengandung $\text{SiO}_2 = 58,75\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,82\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,30\%$, $\text{CaO} = 4,66\%$, alkali = 1,36%, $\text{MgO} = 3,30\%$, dan bahan lainnya = 0,81%. Fly ash bersifat pozzolan, artinya apabila abu tersebut terdapat pada suhu kamar, abu dapat bereaksi dengan kapur dengan bantuan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Oleh karena itu, fly ash dapat digunakan dalam berbagai keperluan bangunan [1]. Komponen utama fly ash yaitu silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO); dan beberapa unsur lainnya dalam jumlah yang sedikit [2]

Alumina merupakan bahan refraktori yang umum dalam bidang industri, karena dinilai memiliki sifat yang tahan terhadap suhu tinggi, getaran, dan korosi. Alumina tersusun dari aluminium dan oksigen, dan merupakan senyawa unsur non logam. Sifat alumina yaitu keras, kuat menahan getaran, dan tahan terhadap temperatur tinggi. Oleh karena itu, alumina termasuk bahan paduan dalam pembuatan bahan refraktori [10]. Pada material refraktori, alumina digunakan untuk mengurangi penyusutan keramik, baik penyusutan kering maupun penyusutan pada saat terjadi proses *sintering*. Alumina juga mempunyai sifat tahan api yang tinggi [11].

Dari beberapa kasus di atas memperlihatkan bahwa penambahan oksida aluminium meningkatkan ketahanan fisik dan kekerasan bahan refraktori, namun juga dapat mengurangi kemampuan dalam menyerap air. Untuk aplikasi tertentu, penting untuk menyesuaikan konsentrasi dan cara penambahan oksida aluminium untuk mencapai sifat yang diinginkan. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, tujuan penelitian ini adalah untuk menginvestigasi efek penambahan alumina terhadap sifat mekanik dan konduktivitas panas pada paduan kaolin dan ash.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen melalui tahap-tahapan persiapan alat dan bahan, pembuatan spesimen, pengujian material. Adapun tahapannya sebagai berikut :

a. Tahapan Persiapan

Pada langkah ini, serbuk aluminium oksida, kaolin, dan pasir diayak dengan mesh ukuran 150 untuk menyeragamkan ukuran partikel bahan dan memastikan bahwa kaolin mudah menyatu dengan fly ash. Tahapan pembuatan spesimen adalah:

1) Proses pencampuran (*mixing*)

Bahan baku aluminium oksida, atau alumina, dicampur dengan kaolin dan pasir yang telah ditimbang. Selanjutnya, blender digunakan untuk mengolahnya selama sekitar tiga puluh menit, dan air ditambahkan sebagai bahan pengikat saat mencetak. Adanya tambahan air ini mengakibatkan campuran berbentuk menjadi lumpur (*sharries*) yang homogen, Adapun komposisi masing-masing bahan adalah sebagai berikut:

2) Proses *Pressing*

Pada tahap ini bahan baku dengan kadar air 15 % (*wet powder*) dimasukkan ke dalam cetakan dengan berat yang sama untuk masing-masing sampel yaitu 100 g. Selanjutnya, bahan baku ditekan sampai dengan 100 kN dengan menggunakan teknik pengepresan menggunakan hidrolik *jack*. Hasil dari pengepresan yaitu batangan keramik mentah yang disebut "*green body*". Terdapat 5 variasi sampel dan untuk setiap variasi terdiri dari 3 benda uji.

3) Proses Pengeringan

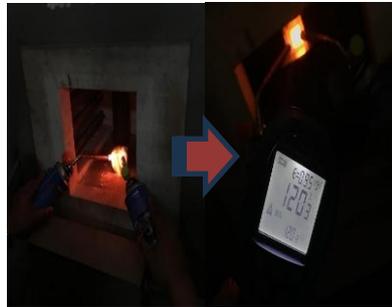
Untuk mengurangi kadar air, oven listrik digunakan selama dua jam pada suhu 150 °C. Selanjutnya, cetakan yang sudah jadi didiamkan selama seminggu.



Gambar 1. Pengeringan dengan Oven Listrik

4) Proses sinter (*sintering*)

Hasil pengepresan disinter pada suhu 1200°C selama satu jam menggunakan tungku pemanas/ dapur *heat treatment* [14].



Gambar 2. Pembakaran dalam Dapur *Heat treatment*

b. Tahapan Pengujian

Sifat mekanik bahan refraktori mencakup kekuatan tekan, dan ketahanan terhadap beban kejut. sedangkan kekuatan tekan mengukur kemampuan bahan refraktori untuk menahan tekanan. Ketahanan terhadap beban kejut mengacu pada kemampuan bahan refraktori untuk menahan beban secara cepat saat terjadi perubahan temperatur. Adapun pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

1) Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan dari *fire bricks*. Standar pengujian mengacu pada standar uji SNI 1974:2011 [12] yang dinyatakan dalam satuan MPa. Pengujian uji tekan bata dilakukan menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine Criterion Model 64* di laboratorium bahan Jurusan Teknik Mesin POLNEP. Bata dipotong dengan ukuran 50 mm x 50 mm sesuai standar SNI untuk uji tekan.



Gambar 3. Pengujian Tekan

2) Pengujian impak

Yaitu pengujian yang dilakukan dengan memberikan beban kejut dengan metode impact *Charpy* pada material refraktori untuk mengetahui sejauh mana

energi dalam yang mampu diserap material [13][14]. Setelah dicetak, spesimen disimpan dalam suhu ruangan selama tiga hari sebelum disintering pada suhu 1200°C. Tujuan dari pengujian impak adalah untuk mengetahui ketahanan spesimen terhadap beban kejut.



Gambar 4. Pengujian Impak

3) Konduktivitas Panas

Konduktivitas panas diukur untuk mengetahui kemampuan bahan refraktori dalam menghantarkan panas dan merupakan salah satu parameter yang diperlukan untuk mendapatkan material dengan konduktivitas panas yang rendah. Dalam aplikasi refraktori, konduktivitas panas yang rendah diinginkan untuk mengurangi transfer panas yang tidak diinginkan melalui material refraktori. Untuk meningkatkan ketahanan refraktori terhadap suhu tinggi, diperlukan nilai konduktivitas panas yang rendah. Hal ini dapat diperoleh melalui penggunaan bahan baku refraktori dengan komposisi kimia tertentu, mineral yang baik, dan kandungan silika rendah [15]. Pengujian konduktivitas dilakukan dengan memanaskan benda kerja pada satu sisi dengan api *torch*. Kemudian, suhu pada sisi muka dan belakangnya diukur dengan termokopel, dan pengujian dilakukan selama tiga puluh menit pada lima spesimen.



Gambar 5. Pengujian Konduktivitas Panas

4) Pengujian Karakteristik

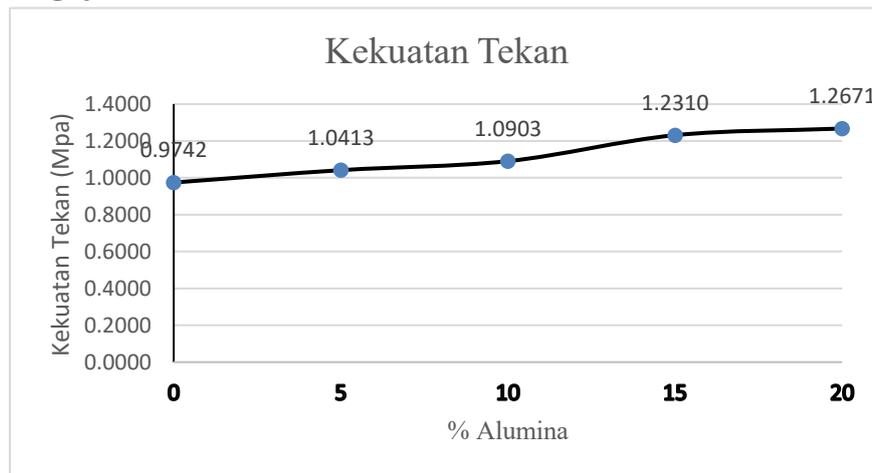
Karakterisasi material dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengetahui banyak unsur yang terkandung. Untuk mengetahui unsur dan morfologi

alumina pada material, pengujian yang dilakukan dengan alat *Scanning Electron Microscope* dan *Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian mekanik telah dilakukan pada penelitian ini dan hasilnya berupa uji tekan, uji impact dengan metode *Charpy*, uji konduktivitas panas.

a. Pengujian Kekuatan Tekan

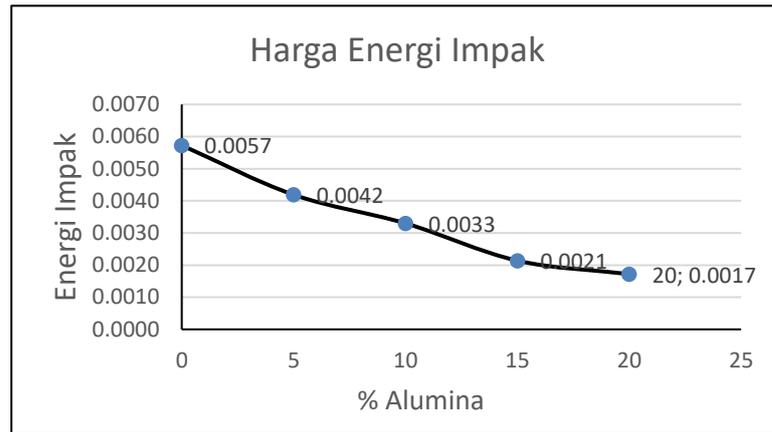


Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Tekan

Dari gambar 6 menunjukkan bahwa dengan penambahan alumina pada paduan kaolin dan *fly ash* memiliki kekuatan tekan tertinggi sebesar 1,2671 MPa pada penambahan alumina sebesar 20 %, namun seiring penambahan alumi, kekuatan tekan semakin menurun.

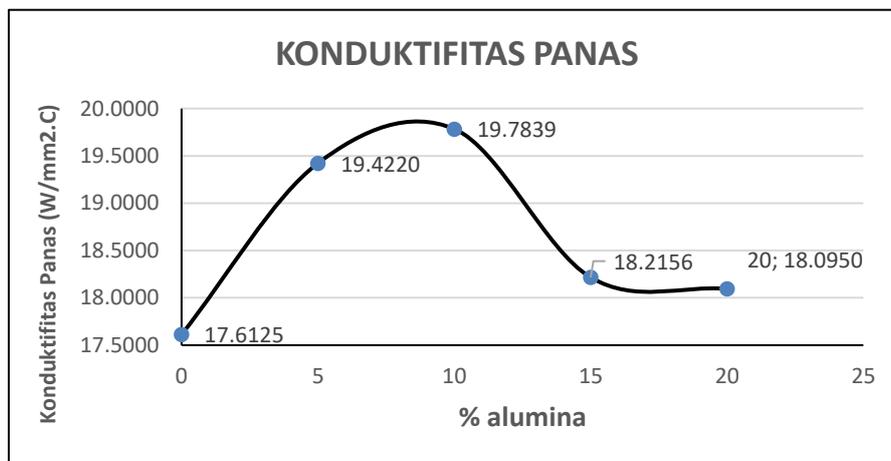
b. Pengujian Kuat Impak

Pada gambar 7 menunjukkan hasil pengujian impact dengan metode *charphy* menggunakan standar uji ASTM E-23 [16], dari hasil tersebut menunjukkan kekuatan impact menurun seiring dengan penambahan unsur alumina. Hal sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hamzah bahwa penambahan Alumina pada komposit *clay* akan menurunkan ketahanan impact [3].



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Impak

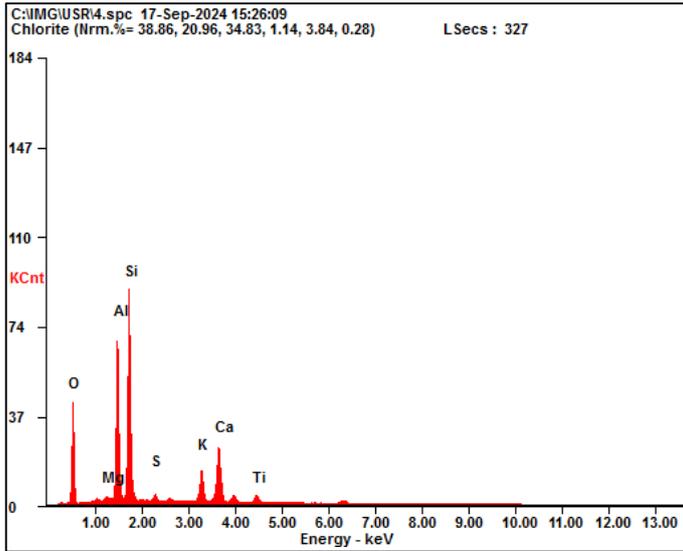
Dari gambar 8 menunjukkan data hasil pengujian konduktivitas panas, dari gambar tersebut memperlihatkan harga konduktivitas panas, harga tertinggi pada penambahan alumina sebesar 10 % yaitu sebesar 19,7839 (W/mm.C), kemudian terjadi penurunan seiring bertambahnya alumina. Dapat dilihat bahwa persentase penambahan alumina dari variasi 0% sampai 5% mengalami peningkatan hingga 10 %, tetapi pada 15% sampai 20% terjadi penurunan konduktivitas termal.



Gambar 8. Hasil Pengujian Konduktivitas Panas

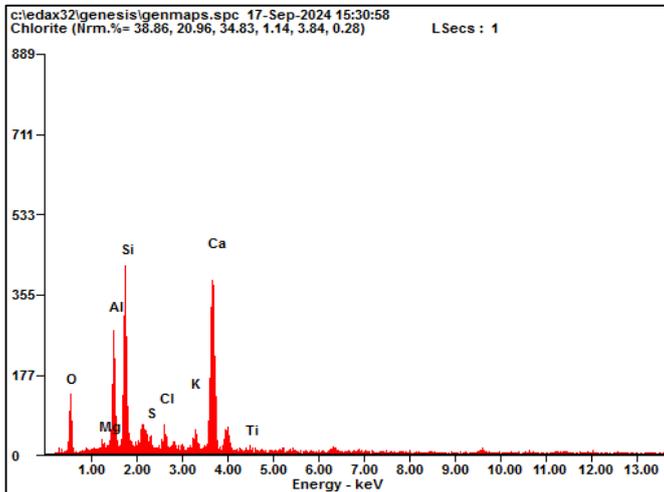
c. Pengujian SEM dan EDX

Dari Gambar 9 dan 10 hasil uji EDX (*Energy Dispersive X-Ray*), pada penambahan alumina 10 % dan 15 % terjadi peningkatan kadar aluminium (Al) dari 11,83 (Wt %) menjadi 17,46 (Wt %) sedangkan silika meningkat dari 20,59 (Wt %) menjadi 28,17 % (Wt %). Sedangkan unsur kalsium (Ca) terjadi penurunan dari 31,7 (Wt%) menjadi 8,95 (Wt%).



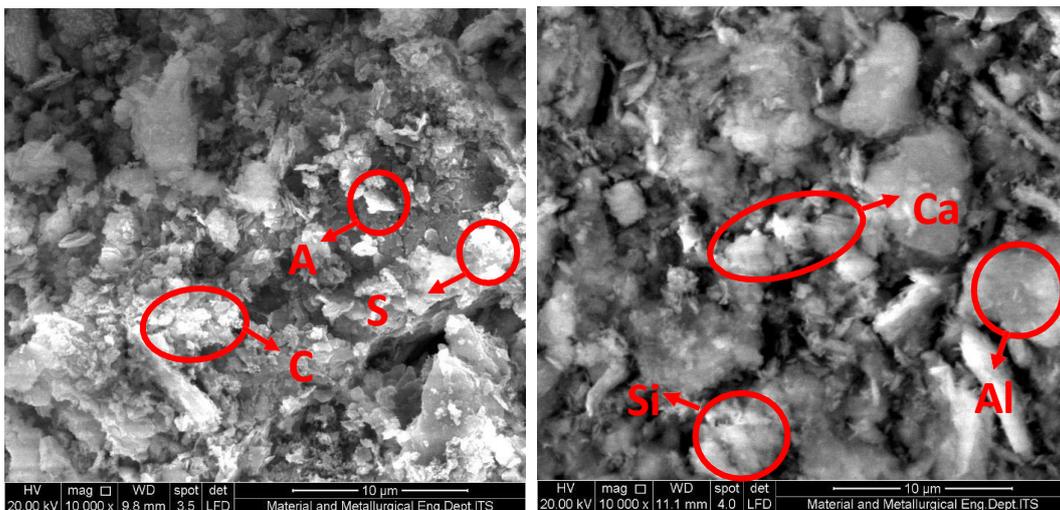
Unsur	Wt%	At%
OK	27.00	43.28
MgK	00.90	00.95
AlK	11.83	11.24
SiK	20.59	18.79
SK	01.42	01.14
ClK	02.28	01.65
KK	03.01	01.97
CaK	31.87	20.39
TiK	01.09	00.58

Gambar 9. Hasil Pengujian EDX 10 % Alumina



Unsur	Wt%	At%
OK	34.28	49.74
MgK	00.76	00.73
AlK	17.46	15.02
SiK	28.17	23.29
SK	01.34	00.97
KK	06.31	03.75
CaK	08.95	05.19
TiK	02.73	01.32

Gambar 10. Hasil Pengujian EDX 15 % Alumina



Gambar 11. Hasil Pengujian SEM Alumina 10 % dan 15 %

Gambar 11 memperlihatkan stuktur distribusi kristal dari Uji SEM. memperlihatkan bentuk kristal lembaran tipis yang menunjukkan unsur alumina. Silika dan kalsium berbentuk bulat dan tidak beraturan yang teraglomerasi. Diantara unsur-unsur tersebut, terdapat pori-pori yang ditunjukkan dengan lubang berwarna hitam

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hasilnya sebagai berikut:

- a. Penambahan alumina pada paduan kaolin dan *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan tekan dan menurunkan nilai konduktivitas panas, sedangkan penambahan alumina justru menurunkan nilai kekuatan impak.
- b. Dari hasil uji EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) memperlihatkan terjadinya peningkatan unsur aluminium (Al) silika (Si) dan oksigen (O), sedangkan unsur kalsium (Ca) terjadi penurunan.
- c. Dari hasil karakterisasi SEM menunjukan distribusi partikel dari unsur aluminium kalsium dan silika menyebar tidak merata dan terdapat pori-pori diantara partikel tersebut.

5. SARAN

Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh unsur pengikat, temperatur sintering dan pengaruh butir partikel.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Pontianak yang telah mendanai penelitian ini melalui program pendanaan penelitian terapan Khususnya Bapak Direktur Politeknik Negeri Pontianak dan Kepala UPPM yang telah memberikan kepercayaan kepada kami untuk melaksanakan penelitian ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Valášková, V. Blahůšková, and J. Vlček, "Effects of kaolin additives in fly ash on sintering and properties of mullite ceramics," *Minerals*, vol. 11, no. 8, Aug. 2021.
- [2] S. Kamara, W. Wang, and C. Ai, "Fabrication of refractory materials from

- coal fly ash, commercially purified kaolin, and alumina powders,” *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 15, pp. 1–15, Aug. 2020.
- [3] F. S. Irwansyah *et al.*, “Peleburan Kuningan Dengan Teknik Infiltrasi,” *J. Zeolit Indones.*, vol. 9, no. 1, pp. 25–32, 2010.
- [4] P. Fernandez-Zelaia *et al.*, “Mechanical Behavior of Additively Manufactured Molybdenum and Fabrication of Microtextured Composites,” *Jom*, vol. 74, no. 9, pp. 3316–3328, 2022.
- [5] T. Pochwała, R. Kusiorowski, A. Śliwa, and B. Psiuk, “Modification of the microstructure of refractory materials by the impregnation process,” *Ceram. Int.*, vol. 47, no. 22, pp. 31843–31851, 2021.
- [6] N. A. Abdel-Khalek, K. A. Seiem, S. E. Mohammed, H. H. El-Hendawy, and R. M. Elbaz, “Interaction Between Kaolinite and Staphylococcus Gallinarum Bacteria,” *J. Min. World Express*, vol. 3, no. 0, p. 46, 2014.
- [7] F. S. Aleanizy, F. Alqahtani, O. Al Gohary, E. El Tahir, and R. Al Shalabi, “Determination and characterization of metronidazole-kaolin interaction,” *Saudi Pharm. J.*, vol. 23, no. 2, pp. 167–176, Apr. 2015.
- [8] M. F. Brigatti, E. Galán, and B. K. G. Theng, “Structure and Mineralogy of Clay Minerals,” *Dev. Clay Sci.*, vol. 5, pp. 21–81, Jan. 2013.
- [9] A. Philip Marthinus, M. D J Sumajouw, and S. W. Reky, “Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton,” *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 11, pp. 729–736, 2015.
- [10] N. S. Yüzbaşı, T. Graule, and G. Blugan, “Stability assessment of alumina and SiC based refractories in a high temperature steam environment as potential thermal energy storage materials,” *Open Ceram.*, vol. 16, Dec. 2023.
- [11] B. Peng *et al.*, “Preparation of mullite whiskers from high alumina fly ash and its reinforced porous structure,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 24, pp. 3323–3333, May 2023.
- [12] “Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder Badan Standardisasi Nasional,” 2011.
- [13] Z. Wang, E. Bai, H. Huang, and B. Ren, “Effect of strength grade on mechanical properties of concrete under dynamic load,” *Struct. Concr.*, vol. 24, no. 3, pp. 3646–3655, Jun. 2023.
- [14] A. Lianita Sari, “PENGARUH THERMAL SHOCK RESISTENCE DAN KOMPOSISI BAHAN REFRAKTORI TERHADAP KEKUATAN IMPACT DAN STRUKTUR MAKRO.”
- [15] M. C. Vera, J. Martinez-Fernandez, M. Singh, V. Casalegno, C. Balagna, and J. Ramirez-Rico, “Microstructure and thermal conductivity of Si-Al-C-O fiber bonded ceramics joined to refractory metals,” *Mater. Lett.*, vol. 276, Oct. 2020.