

Pengaruh komposisi pasir kuarsa terhadap sifat bata tahan api (*firebrick*) berbahan kaolin dan *fly ash*

Dwi Handoko¹⁾, Pujarianto²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Pontianak

E-mail: ¹⁾dwihandokopb@gmail.com, ²⁾polneppujarianto@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi pasir kuarsa pada pembuatan bata tahan api berbahan dasar kaolin dan fly ash. Kaolin merupakan bahan keramik yang memiliki kekuatan tinggi apabila dibakar pada suhu tinggi dan fly ash merupakan produk limbah dari pembakaran boiler. Unsur-unsur yang terkandung dalam fly ash adalah alumina (Al₂O₃), oksida besi (Fe₂O₃), silika (SiO₂) dan kalsium, sulfur, dan magnesium karbon. Pasir kuarsa berfungsi sebagai bahan pengisi yang dapat meningkatkan kekerasan batu bata tahan api sekaligus meningkatkan ketahanan terhadap temperatur tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan membuat benda uji yang komposisinya bervariasi yaitu kaolin, fly ash dan pasir kuarsa dengan air yang konstan. Komposisi yang digunakan untuk kaolin dan fly ash diberi perbandingan persentase yang sama, dengan memvariasikan pasir kuarsa sebesar 0 (%), 10 (%), 15 (%), 20 (%), 30 (%). Pengujian yang dilakukan adalah uji massa jenis, konduktivitas panas, kuat tekan pada batu bata yang telah dipanaskan hingga suhu 1275°C, dimana hasil tersebut akan menjadi parameter untuk mengetahui komposisi terbaik. Hasilnya adalah dengan menambah komposisi pasir kuarsa terjadi peningkatan nilai densitas dan konduktivitas panas, sedangkan kuat tekan maksimum terjadi pada penambahan pasir kuarsa 10% yaitu sebesar 30,51 MPa.

Kata Kunci: bata tahan api, kaolin, fly ash, pasir kuarsa

Abstract

This study aims to determine the effect of quartz sand composition on the manufacture of refractory bricks made from kaolin and fly ash. Kaolin is a ceramic material that has high strength when burned at high temperatures and fly ash is a waste product from boiler combustion. The elements contained in fly ash are alumina (Al₂O₃), iron oxide (Fe₂O₃), silica (SiO₂) and calcium, sulfur, and magnesium carbon. Quartz sand serves as a filler material that can increase the hardness of refractory bricks while increasing resistance to high temperatures. The research method used is the experimental method by making test objects whose composition varies, namely kaolin, fly ash and quartz sand with constant water. The composition used for kaolin and fly ash is given the same percentage ratio, by varying quartz sand by 0 (%), 10 (%), 15 (%), 20 (%), 30 (%). The tests carried out are density, heat conductivity, compressive strength tests on bricks that have been heated to a temperature of 1275 ° C, where the results will be a parameter to determine the best composition. The result is that by increasing the composition of quartz sand, there is an increase in density and heat conductivity values, while the maximum compressive strength occurs in the addition of 10% quartz sand, which is 30.51 MPa.

Keywords: refractory brick, kaolin, fly ash, quartz sand

1. PENDAHULUAN

Batu bata tahan api (*fire brick*) merupakan salah satu material refraktori yang bisa mempertahankan bentuk fisiknya di atas suhu 538°C [1]. Bata tahan api memiliki sifat yang kokoh, kuat, padat karena diproses dengan pemanasan hingga temperatur 1200°C . Bata tahan api tergolong kedalam jenis keramik karena dibuat dari campuran material galian dan diproses dengan temperatur yang tinggi, dimana produk refraktori ini termasuk kedalam keramik tradisional karena menggunakan material alam seperti kuarsa dan kaolin [2].

Kaolin (China clay), biasa digunakan sebagai campuran dalam pembuatan keramik tradisional. Kaolin biasanya mengandung mineral kaolinit, tetapi bisa juga mengandung beberapa mineral yang terkandung pada kulit bumi lainnya seperti Fe_2O_3 dan TiO_2 . Kaolin yang ideal (Al_2O_3 SiO_2 H_2O) terdiri dari 46,6% silika, 39,5% alumina dan 13,9% air. [3]. Pada pembuatan bata tahan api, kaolin digunakan sebagai bahan utama sekaligus bahan pengikat.

Kuarsa adalah mineral yang tersusun dari kristal silika (SiO_2) dan mengandung pengotor yang terbawa selama proses pengendapan, yang memiliki komposisi gabungan SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO dan K_2O , berwarna putih transparan atau warna lain tergantung senyawanya. pengotor, kekerasan 7 (skala Mohs), berat jenis 2,65, titik leleh 1715°C . [4]. Kuarsa digunakan sebagai penguat dalam pembuatan bata tahan api karena memiliki kekerasan dan titik lebur yang cukup tinggi.

Fly ash/Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus dimana abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran. Komponen utama fly ash batu bara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO), magnesium, potasium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah yang sedikit. (Setiawati, 2018). Fly ash memiliki kandungan silika dan alumina sehingga dapat menjadi bahan refraktori sesuai [5].

(Haris, 2022) telah melakukan penelitian mengenai pembuatan bata tahan api dengan campuran kaolin dan fly ash dan memiliki spesimen terbaik pada perbandingan 50% kaolin dan 50% fly ash yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi di angka 6,867 Mpa dan ketahanan terhadap suhu kerja di 9000°C [6].

Merujuk dari uraian singkat di atas, penulis tertarik melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir kuarsa pada pembuatan bata tahan api berbahan kaolin dan fly ash. Diharapkan penelitian dapat meningkatkan manfaat kaolin dan kuarsa yang ada di kota singkawang serta salah alternatif pemanfaatan limbah fly ash yang dihasilkan dari PLTU.

2. METODE PENELITIAN

a. Metode Pembuatan Bata Tahan Api

Pembuatan bata tahan api pada penelitian ini merujuk pada patent Refractory Brick, Its Composition, and Process for Manufacturing [5]. Dimana pada patent tersebut proses pembuatan bata tahan api dengan sistem kering dimulai dengan menghaluskan semua bahan yaitu dengan penghancuran bahan kemudian dilakukan pegayakan/penyaringan pada kekasaran tertentu. Lalu semua bahan dicampurkan lalu dicetak dengan bentuk dan ukuran sesuai keperluan kemudian bata dikeringkan lalu dibakar pada suhu dan waktu tertentu.

b. Pengujian Bata Tahan Api

Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, berikut penjelasannya:

1) Pengujian Densitas

Pengujian densitas merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui berat jenis/ rapatan suatu material. Dimana pada pengujian densitas, volume dari bata tahan api akan dibandingkan dengan massa dari bata tahan api. Proses pengujian bata tahan api yaitu dilakukan dengan menimbang dan mengukur dimensi bata pada saat kondisi bata kering sesuai SNI 2004 bata tahan api. Dari kedua parameter tersebut, maka akan didapatkan nilai densitas dari bata tahan api yaitu menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ = Massa jenis (cm^3/g)

V = volume bata tahan api (cm^3)

M = Massa bata tahan api (g)

2) Pengujian Konduktivitas Panas

Konduktivitas panas adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium - medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar menurut teori kinetik. Suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata - rata molekul - molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relative molekul - molekulnya disebut energi dalam. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastic (*elastic impact*), misalnya dalam fluida atau dengan pembauran (difusi/diffusion) elektron - elektron yang bergerak secara cepat dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah. [7] .



Gambar 1. Uji Konduktivitas panas Datar

Konduksi Keadaan Stedi Melalui Dinding

$$Q = m.C. \Delta T$$

$$K = (Q.L)/(A. \Delta T)$$

Dimana :

M = massa bata tahan api (Kg)

Q = laju perpindahan panas dengan cara konveksi (J)

A = luas perpindahan panas (m²)

ΔT = beda antara permukaan suhu T1 dan suhu T2 (K)

C = Koefisien perpindahan panas bahan

L = Tebal dari suatu bahan (m)

3) Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian tekan termasuk kedalam pengujian sifat mekanik yang bertujuan agar dapat mengetahui kekuatan sebuah bahan. Batu bata tahan api dengan ukuran 50 x 50 x 50 yang akan diuji akan diletakkan pada alat uji tekan dengan mesin uji MTS Criterion Model 64 . Pada saat bahan sudah hancur maka akan dicatat pada besaran gaya tekan maksimum.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dengan:

σ = Kuat tekan (Mpa)

F = beban total maksimum (N)

A = luas penampang rata rata (cm²)



Gambar 2. Uji Kuat Tekan Bata menggunakan Mesin MTS Criterion M 64

4) Pengujian Bakar

Pengujian bakar merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui perubahan fisik dari bata tahan api pada suhu tertentu. Pengujian bakar yang dilakukan menggunakan tungku naga yang ada di PT.Borneo Lentera Prima di Desa Sakok kota Singkawang tempat dimana tungku tersebut digunakan untuk membakar kerajinan keramik. Uji bakar dilakukan dengan temperatur maksimum tungku naga yaitu 1275°C. pengujian ini dilakukan setelah dilakukan pengeringan bata dan pengujian dilakukan pada semua spesimen apakah tahan terhadap suhu tersebut.



Gambar 3. Uji Pengujian Pembakaran Bata

c. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Kaolin, Fly Ash dan Pasir Kuarsa. Sedangkan sebagai pencampur menggunakan air dengan komposisi tetap untuk masing-masing specimen. Adapun komposisi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1. komposisi spesimen uji

Spesimen	Berat total 1000 gram			
	<i>Fly ash</i> (gram)	Kaolin (gram)	Pasir kuarsa (gram)	Air (ml)
1	500	500	0	250
2	450	450	100	250
3	425	425	150	250
4	400	400	200	250
5	350	350	300	250

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil pembuatan bata tahan api berbahan kaolin dan fly ash dengan memvariasikan persentase pasir kuarsa yang terdiri dari 5 buah spesimen dimana setiap spesimennya dibuat 5 buah bata. Sampel bata dibuat berbentuk persegi panjang dengan ukuran dimensi panjang 135 mm, lebar 70 mm dan tebal 50 mm. Pada tungku yang digunakan pada pembuatan bata tahan api adalah tungku naga yang merupakan tungku tradisional yang ada di Kota Singkawang pada suhu mencapai 1250°C selama 24 jam dengan bahan bakar kayu yang mana tungku naga digunakan sebagai tungku pembakaran keramik tradisional.

Adapun hasil pengujian yang ditampilkan diurutkan menyesuaikan dari urutan pengujian yang sudah dilakukan mulai dari uji densitas, konduktivitas panas, kuat tekan, serta dari tiga pengujian tersebut akan didapat spesimen dengan komposisi terbaik serta dapat diketahui berada dikelas berapa yang mana dari hasil tersebut akan dilanjutkan ke pengujian mikrostruktur untuk melihat permukaan dari bata tahan api.

a. Hasil Pembakaran

Pada pengujian bakar, dilakukan menggunakan tungku naga dengan suhu maksimum 1275°C yang dilakukan selama 24 jam untuk melihat ketahanan panas bata pada suhu tersebut. Berikut gambar hasil pengujian bata tahan api di bawah ini.



Gambar 4. hasil pembakaran spesimen 1,2,3,4 dan 5

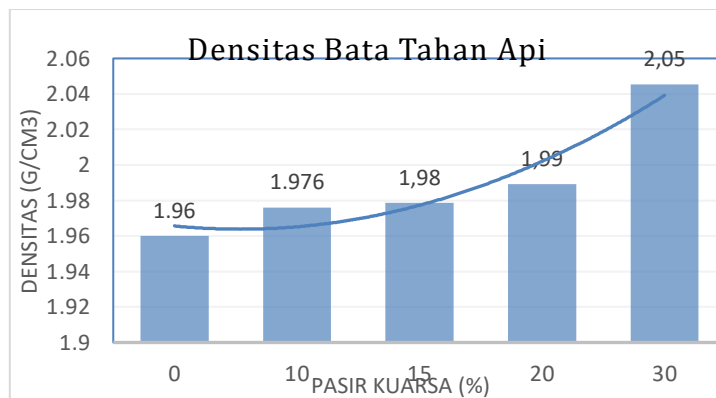
Pada hasil pembakaran yang dapat dilihat dari gambar di atas, bata yang dibuat tahan pada temperatur 1275°C . setelah dilakukan pembakaran, tidak ada perubahan bentuk yang signifikan, hanya saja pada salah satu spesimen nomor 5 terjadi keretakan. Warna yang dihasilkan dari pembakaran berbeda pada setiap spesimennya, hal tersebut diakibatkan oleh api yang dihasilkan dari pembakaran kayu yang memiliki asap dan juga suhu tungku yang tidak stabil sehingga menghasilkan warna yang berbeda dengan spesimen lainnya. Dimana pada tungku naga menggunakan kayu bakar yang diisi secara manual dan tidak teratur tergantung pekerja yang menjaga tungku tersebut.

Pada hasil pembakaran pada semua spesimen, spesimen nomor 5 yaitu dengan persentase pasir kuarsa 30% terjadi keretakan pada permukaan. Hal tersebut

diakibatkan pasir kuarsa yang terlalu banyak sedangkan kaolin dan fly ash sedikit sehingga daya ikat yang dihasilkan oleh kedua bahan tersebut untuk mengikat pasir kuarsa berkurang. Tetapi secara garis besar, dari bahan yang digunakan pada penelitian ini memiliki daya tahan panas yang tinggi, hal tersebut ditandai dengan tidak melelehnya pada ketiga bahan tersebut saat dibakar pada temperatur maksimum dari tungku naga.

b. Hasil Pengujian Densitas Bata Tahan Api

Pada pengujian densitas, bata ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ukuran dimensi yang sama yaitu 5x5x5 cm. kemudian berat hasil penimbangan dibagi dengan volume bata sehingga didapatkan nilai densitas. Pengaruh pasir kuarsa terhadap nilai densitas dapat dilihat pada grafik dibawah ini.

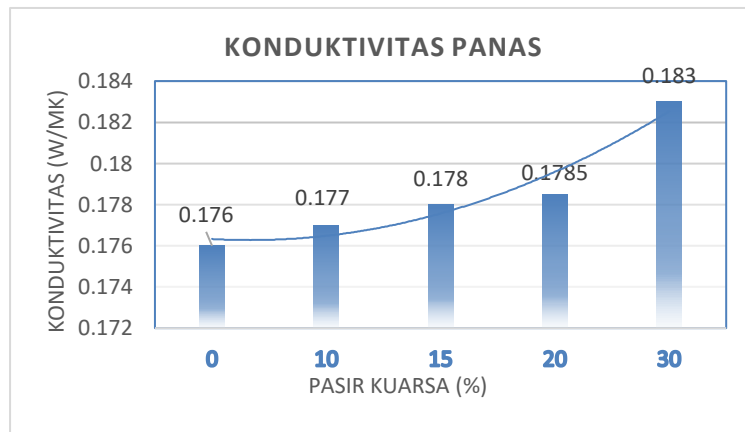


Gambar 5. grafik nilai densitas terhadap persentase kuarsa

Dari hasil data pengujian densitas, dapat dilihat dari grafik diatas, dimana hasil penimbangan bata, akan dibagi dengan volume bata sehingga didapatkanlah nilai dari densitas bata tahan api. Yang mana penambahan pasir kuarsa berpengaruh pada densitas/rapatan bata tahan api. Peningkatan nilai densitas terjadi seiring meningkatnya persentase pasir kuarsa, hal tersebut disebabkan nilai densitas pasir kuarsa yang lebih tinggi dibandingkan bata tahan api . yang mana nilai densitas pasir kuarsa sebesar 2,65 g/cm³ [4] . Sehingga terjadi peningkatan densitas seiring meningkatnya persentase pasir kuarsa. Dilihat dari grafik diatas, densitas tertinggi didapat dari spesimen kelima dengan nilai 2,045 g/cm³ yang dimiliki oleh persentase komposisi kaolin dan fly ash yang sama dengan pasir kuarsa 30% dimana pada komposisi tersebut merupakan komposisi yang memiliki kepadatan tertinggi dari pada komposisi lainnya.

Densitas terendah berada pada spesimen pertama yaitu di angka 1,96 g/cm³ .

semakin tinggi persentase pasir kuarsa yang di tambahkan pada komposisi bata tahan api, maka nilai densitas nya juga akan naik karena pasir kuarsa yang memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan bata dengan komposisi tanpa pasir kuarsa. Dari hasil pengujian Pengujian batu bata tahan api terdiri lima spesimen pengujian yang dimana hasil pengujian adalah nilai konduktivitas yaitu K (W/mK). Hasil pengujian ditunjukkan dalam grafik berikut.



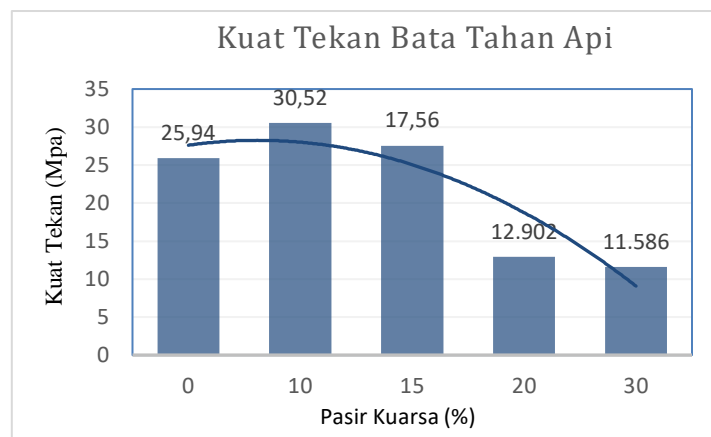
Gambar 6. grafik nilai konduktivitas terhadap persentase kuarsa

Dari hasil pengujian konduktivitas panas yang sudah dilakukan pada 5 buah spesimen bata dapat dilihat dari grafik konduktivitas di atas. Penambahan komposisi pasir kuarsa berpengaruh terhadap nilai konduktivitas, yang mana seiring peningkatan komposisi pasir kuarsa, maka nilai konduktivitas akan naik, hal tersebut disebabkan konduktivitas termal pasir kuarsa berada pada 0,7-1,3 W/mK yaitu lebih tinggi dibandingkn nilai konduktivitas bata tahan api Sehingga seiring bertambahnya persentase pasir kuarsa, maka nilai konduktivitas termal bata akan meningkat. Tetapi pada lima spesimen yang dilihat dari grafik di atas, peningkatan nilai konduktivitas yang terjadi tidak terlalu signifikan sehingga penambahan pasir kuarsa tidak terlalu berpengaruh terhadap konduktivitas bata tahan api.

Konduktivitas tertinggi dapat di peroleh pada hasil pengujian spesimen 5 yaitu dengan komposisi pasir kuarsa 30% dengan nilai konduktivitas 0,183 W/mK. Sedangkan konduktivitas terendah diperoleh pada spesimen 1 yaitu dengan pasir kuarsa 0% dengan nilai konduktivitas 0,176 W/mK . Jika dilihat dari tabel SNI 15-1571-2004, spesimen nomor 5 dengan komposisi 30% pasir kuarsa dapat diklasifikasikan pada kelas B-2.

c. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Tahan Api

Pada hasil pengujian kuat tekan terdapat lima data dari rata-rata yang dihasilkan oleh mesin UTS Criterion Model 64. Data pengujian yang ditampilkan pada tabel dan grafik agar dapat dilihat perubahan antara tiap spesimen dapat dilihat sebagai berikut.



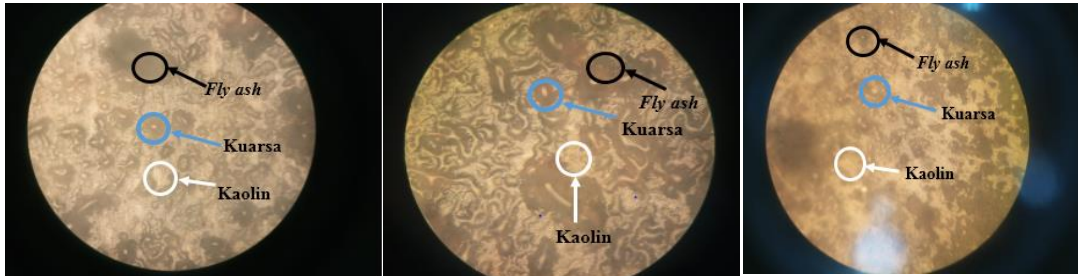
Gambar 7. grafik nilai kuat tekan terhadap persentase kuarsa

Dari grafik diatas, dapat dianalisa perubahan kuat tekan pada tiap spesimen yang berbeda komposisinya yang mana penambahan pasir kuarsa berpengaruh terhadap kuat tekan seperti dijelaskan pada penelitian (Rachmat Sriwijaya, 2013) yaitu pasir kuarsa mempengaruhi sifat mekanik pada bahan keramik. Namun seiring bertambahnya persentase pasir kuarsa, kuat tekan relatif menurun, hal itu dapat disebabkan persentase yang terlalu tinggi membuat jumlah kaolin dan fly ash berkurang sehingga bahan pengikat tersebut kurang mampu mengikat pasir kuarsa.

Kuat tekan pada komposisi kuarsa 0% di angka 25,941 Mpa, sedangkan kuat tekan terendah ada pada komposisi kuarsa 30% yaitu diangka 11,586 Mpa. Kuat tekan bata tertinggi dihasilkan dari komposisi pasir kuarsa 10% yang mana pada komposisi tersebut memiliki kuat tekan sebesar 30,517 Mpa. Maka dari pengujian kuat tekan bata tahan api, kuat tekan tertinggi pada spesimen nomor 2 dan jika dikelompokan pada standar SNI 15-1571-2004 spesimen tersebut berada pada kelas C-3 atau SK-32.

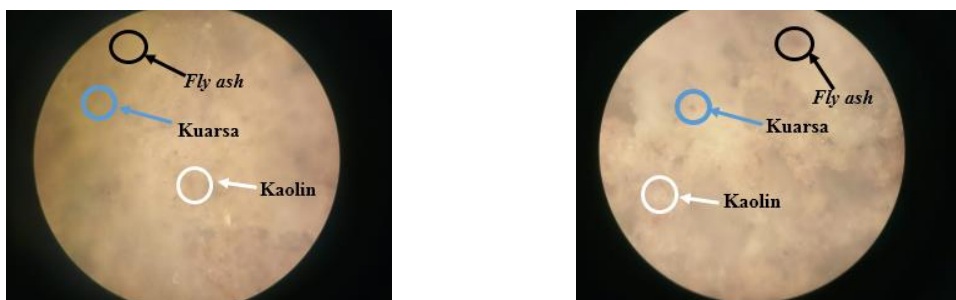
d. Hasil Pengujian Mikrostruktur Bata Tahan Api

Pada pengujian mikrostruktur dilakukan untuk melihat permukaan struktur bata tahan api menggunakan mikroskop. Mikroskop yang digunakan pembesar sebesar 100 kali. Berikut gambar hasil pengujian mikrostruktur dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 8. : Uji Mikrostruktur Spesimen 1,2 dan 3

Pada spesimen nomor satu, dilihat dari gambar di atas, dimana fly ash terlihat berwarna coklat, kaolin cenderung berwarna putih gelap. Pada spesimen terlihat kaolin dan fly ash tanpa pasir kuarsa dan yang gelap merupakan rongga udara yang terjebak pada bata tahan api. Pada spesimen nomor dua dan tiga, dilihat dari gambar di atas cenderung hampir sama, dimana fly ash terlihat berwarna coklat, kaolin cenderung berwarna putih gelap dan pasir kuarsa berwarna keabuan. Pada spesimen terlihat kaolin dan fly ash dengan pasir kuarsa 10 % dan 15 % yang berwarna gelap merupakan rongga udara yang terjebak pada bata tahan api.



Gambar 9. mikrostruktur spesimen 4 dan 5

Pada spesimen nomor 4 dan 5, dilihat dari gambar di atas tampak permukaannya tidak berbeda jauh yang cenderung kasar, dimana fly ash terlihat berwarna coklat, kaolin cenderung berwarna putih gelap dan pasir kuarsa berwarna keabuan. Pada spesimen terlihat kaolin dan fly ash dengan pasir kuarsa 20 % dan 30% yang berwarna gelap merupakan rongga udara yang terjebak pada bata tahan api. Pada spesimen 4 dan 5 pasir kuarsa lebih mendominasi karena persentase pasir kuarsa

yang tinggi.

Dilihat dari hasil foto semua pengujian mikrostruktur di atas, dimana permukaan bata tahan api terlihat kasar, hal tersebut dikarenakan adanya campuran pasir kuarsa dan rongga udara yang masih terjebak pada bata tahan api. Permukaan hasil uji mikrostruktur pada kelima spesimen cenderung kasar seiring meningkatnya jumlah pasir kuarsa. Dimana fly ash terlihat berwarna coklat, kaolin cenderung berwarna putih gelap dan pasir kuarsa berwarna keabuan.

4. SIMPULAN

Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa komposisi yang terbaik dari karakteristik densitas, konduktivitas panas dan kuat tekan adalah spesimen 2 dengan pasir kuarsa 10% yang mana dari hasil pengujian tersebut spesimen 2 memiliki nilai densitas 1,976 g/cm³, konduktivitas panas 0,177 W/mK dan kuat tekan maksimum sebesar 30,51 Mpa. Spesimen 2 dapat digolongkan pada kelas C-3 / SK-32 di SNI 15-1571-2004 dan setelah dilakukan pengujian bakar, bata tahan api spesimen 2 dapat bertahan di suhu kerja 1250°C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM, "Standard Terminology Relating to Refractories C 71 – 08.," ASTM International, pp. 1-2, 2009.
- [2] A. M. Utomo, "Pengetahuan Teknologi," Fakultas Seni Rupa dan Desain, Bali, 2010.
- [3] J. Shackelford, Ceramic and Glass Materials, Structure ,Properties and Processing, New York: springer.com, 2008.
- [4] R. Sriwijaya, "Pengaruh Komposisi Tanah Liat, Kaolin Dan Kwarsa Serta Suhu Pembakaran Terhadap Sifat Keramik Tradisional," dalam Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII, Bandar Lampung, 2013.
- [5] T. S, "Patent Refractory Materials," United States Patent and Office, England, 1951.
- [6] W. Haris, "Pembuatan Batu Bata Tahan Api (Fire Brick) Berbahan Kaolin Dan Fly Ash," Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, 2022.
- [7] D. F. Arifin, Bahan Ajar Perpindahan Panas, Banjarbaru., 2016.
- [8] T. S. Busby, "Refractory Materials," United State Patens, USA, 1954.
- [9] U. Cahyanto, "Penggunaan Kaolin Kalimantan Barat Sebagai Pigmen Extender Dalam Pembuatan Cat Tembok Emulsi. Biopropal Industri. BIOPROPAL INDUSTRI.," BIOPROPAL INDUSTRI , vol. 5, no. 2, pp. 45- 51., 2014.

- [10] P. K. Devi, Modul Pembelajaran Kimia, Jakarta: Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan - Kemdikbud, 2016.
- [11] L. Dony, "Komposisi mineral berat dalam endapan pasir kuarsa di Kalimantan Barat berdasarkan studi kasus di daerah Singkawang dan sekitarnya.," dalam Prosiding Seminar Kebumihan Ke-7, 2014.
- [12] S. Faizah, Pembelajaran Kimia Komposisi, Refraksi, keramik dan pelumas, Jakarta: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan, 2016.
- [13] R. H.A, "Uji Kuat Tekan Bata Merah Menggunakan Mortar Pasir.," Universitas Brawijaya, Malang, 2016.
- [14] M. Hamzah, "Kekuatan Impak Komposit Clay Dan Alumina Untuk Aplikasi Fire Brick," Jurnal Mekanikal, vol. 8, no. 1, pp. 716-720.
- [15] Maryoto, "Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar," Jurnal Teknik Sipil dan Perancangan Universitas Jenderal Soedirman, vol. 10, no. 2, pp. 103-114, 2008.
- [16] K. Pranaka, "Pengaruh Variasi Komposisi Material Terhadap Pembentukan Bata Tahan Api," Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, Lampung, 2022.
- [17] PT. Intermatra, "Bata Tahan Api Untuk Instalasi Refractory," 2015. [Online]. Available: <https://intermatra.com/bata-tahan-api-untuk-instalasi-refractory/>. [Diakses Sunday November 2023].
- [18] M. Sadat Hamzah, "Kekuatan Bending dan Impak Komposit Clay/Fly ash Untuk Aplikasi Fire Brick," 2015.
- [19] Setiawati.M, "Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton," dalam Seminar Nasional sains dan Teknologi, Jakarta, 2018 .
- [20] D. Stewart, "Hydrous Kaolin for Decorative Matt Emulsion Paint," European Coating Journal., 2007.
- [21] Thamrin.MT, "Dampak Radiologis Pelepasan Serat Asbes," IPTEK ILMIAH POPULER Baan, vol. 6, no. 2, pp. 67-76, 2004.
- [22] universitas-sriwijaya, Sunday November 2023. [Online]. Available: <https://www.studocu.com/id/document/universitas-sriwijaya/element-mesin/makalah-refraktori/32826141>. [Diakses 2023].
- [23] K. Pranaka, "Pengaruh Variasi Komposisi Material Terhadap Pembentukan Bata Tahan Api," Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Lampung, 2022.
- [24] SNI, "Bata tahan api isolasi jenis samot," Badan Standar Nasional, 2004.