



PENGARUH TEMPERATUR *SINTERING* KAOLIN PADA BATA TAHAN API TERHADAP UJI DENSITAS, POROSITAS DAN KUAT TEKAN

Yusniar Ahmiyati^{1*}, Tumpal Ojahan Rajagukguk²

^{1,2}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Lampung.

Email : yusniara0807@gmail.com¹, tumpal_ojahan@malahayati.ac.id²,

Abstract

Fire bricks possess the ability to withstand high temperatures; however, repeated use beyond their capacity can lead to failure. As construction materials, fire bricks maintain their shape and strength at extremely high temperatures. Kaolin is a natural mineral belonging to the clay group, with kaolinite as its primary constituent. The decomposition of kaolinite into metakaolinite occurs between 400 and 630°C, and metakaolin gradually promotes the formation of mullite crystals. Alumina is one of the most widely used raw materials in refractory applications due to its high heat resistance, as well as its resistance to erosion and corrosion. This study aims to analyze fire bricks produced by sintering kaolin at 700°C, while varying the compositions of kaolin, alumina, and chamotte, followed by firing at 1300°C. Density test results indicate that Sample 3 yielded the best value of 2.14 g/cm³. Porosity test results show that Sample 3 achieved the optimal value of 16.4%. Compressive strength test results demonstrate that Sample 3 produced the highest value of 34.79 N/mm². This research has the potential to serve as an alternative solution for developing fire bricks applicable in the petrochemical industry, iron and steel production, boilers, power plants, ceramics, glass, and other sectors.

Keywords: Fire Bricks, Kaolin, Density, Porosity, Compressive Strength, Sintering.

Abstrak

Bata tahan api memiliki kemampuan tahan terhadap temperatur tinggi, namun penggunaan bata tahan api diluar batas kemampuan yang digunakan berulang-ulang akan menjadi faktor kegagalan. Bata tahan api material konstruksi mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi. Kaolin merupakan bahan tambang alam yang termasuk dalam jenis tanah lempung *clay* penyusun utamanya adalah *kaolinite*. *Dekomposisi kaolinite* menjadi *metakaolinite* terjadi antara temperatur 400°C dan 630°C, metakaolin secara bertahap mendorong pembentukan kristal *mullite*. Alumina merupakan salah satu bahan baku yang paling banyak digunakan untuk aplikasi *refractory* karena mempunyai sifat tahan panas yang tinggi, tahan terhadap erosi dan korosi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bata tahan api dengan *sintering* kaolin pada temperatur 700°C serta memvariasikan komposisi Kaolin, Alumina dan *Chamotte* dan temperatur pembakaran yang digunakan adalah 1300°C. Berdasarkan hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa sampel 3 menghasilkan nilai terbaik sebesar 2,14 gr/cm³. Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa sampel 3 menghasilkan nilai terbaik sebesar 16,4 %. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa sampel 3 menghasilkan nilai terbaik yaitu 34,79 N/mm². Penelitian ini berpotensi menjadi solusi alternatif dalam pengembangan bata tahan api untuk aplikasi di industri petrokimia, pembuatan besi dan baja, boiler, pembangkit listrik, keramik, kaca dan lainnya.

Kata Kunci: Bata Tahan Api, Kaolin, Densitas, Porositas, Kuat Tekan, *Sintering*.

PENDAHULUAN

Bata tahan api memiliki kemampuan tahan pada temperatur tinggi namun penggunaan yang di luar batas kemampuan tahan atau proses yang terberulang-ulang akan menjadi faktor kegagalan fungsi bata tahan api. Kegagalan material bata tahan api saat digunakan dalam suatu proses dapat menjadi kendala yang berdampak pada operasi industri. Kegagalan lapisan bata tahan api dapat terjadi akibat serangan kimia, serangan kejut termal atau kegagalan

mekanis. Serangan kimia terjadi akibat reaksi kimia antara bahan bata tahan api dan pengotor dalam bahan umpan klin dan bahan bakar yang digunakan yaitu gas, terak atau logam. Debu dan alkali yang terkandung dalam gas dapat menempel pada bata tahan api di zona pembakaran dan bereaksi dengan bahan bata tahan api.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh (Amin et al, 2018) tentang karakterisasi bata refractory dengan bahan baku lokal di Provinsi Lampung- Indonesia, bahan baku seperti pasir kuarsa, kaolin, bentonite, feldspar dan ball clay dicampurkan, kemudian dibagi menjadi 7 macam komposisi. Hasilnya pada batu bata komposisi 1 mendekati bata tahan api tipe SK-34 yaitu SiO₂ sebanyak 54,21%, Al₂O₃ sebesar 25,38% dan hasil uji densitas sebesar 2,25 g/cm³, porositas senilai 18,98% serta kuat tekan senilai 325 kg/cm². Didapatkan bahwa massa jenis berbanding terbalik dengan porositas yang disebabkan oleh proses sintering, karena partikel serbuk melebur menjadi fase padat sehingga menurunkan nilai porositas.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh (Siagian dan Hutabalian, 2012) tentang mempelajari pengaruh variasi komposisi aditif sekam padi dengan lempung dan kaolin alami terhadap karakteristik keramik berpori pada temperatur pemanasan 900°C, 1000°C dan 1100°C. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa bertambahnya komposisi abu sekam padi meningkatkan nilai porositas dan sifat mekanik, sedangkan densitas dan susut bakarnya menurun. Nilai susut bakar pada temperatur sintering 900°C - 1100°C adalah (18,91 - 23,31) %, nilai porositas (27,80- 56,94) %, nilai densitas (1,33 - 1,71) g/cm³, nilai kekerasan (8,78 - 12,87) kgf/mm².

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis mencoba melakukan penelitian menggunakan *sintering* kaolin dengan temperatur 700°C dan menggunakan variasi komposisi bahan material bata tahan api yaitu kaolin, *chamotte* bata tahan api dan alumina. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai densitas, porositas dan kuat tekan terhadap bata tahan api.

TINJAUAN PUSTAKA

Bata Tahan Api

Bata tahan api adalah jenis batu bata khusus yang dibuat dengan menggunakan *fire clay* dan memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur tinggi yang digunakan dalam *klin*, *furnace*, perapian dan sebagainya. Bata tahan api ini dibuat dengan cara yang mirip dengan batu bata biasa, kecuali selama proses pembakaran bata tahan api terkena temperatur yang sangat tinggi. Bata tahan api termasuk dalam kelompok keramik *refractory*, karena kemampuannya dalam menahan temperatur yang tinggi (Utomo, 2010).

Bata tahan api didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi di bawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau *slag*. Karena kemampuan tersebut maka umumnya digunakan pada tungku peleburan logam dan gelas, tanur reduksi *kiln* pada industri semen, sistem pembangkit energi pada industri petrokimia. Bata tahan api digunakan pada peralatan yang berhubungan dengan temperatur tinggi dikarenakan sifat yang stabil pada temperatur tinggi. Yang dimaksud stabil artinya bahan tersebut tidak meleleh dan tidak terdeformasi (memuai, menyusut atau memilin) pada temperatur tinggi, tahan terhadap perubahan temperatur yang mendadak serta tahan terhadap korosi baik yang disebabkan oleh terak *slag*, logam cair maupun gas (Faizah, 2016).

Kaolin

Kaolin merupakan bahan tambang alam yang termasuk dalam jenis tanah lempung *clay* dimana mineral penyusun utamanya adalah *kaolinite*. Tanah lempung jenis kaolin berwarna putih atau putih keabu-abuan, gambar kaolin di alam kaolin berasal dari dekomposisi feldspar, kaolin bercampur dengan oksida lainnya seperti magnesium oksida, kalium oksida, kalium oksida, dan lain-lain (Ismail, et al., 2013). Kaolin merupakan salah satu bahan keramik yang banyak dipakai sebagai porselin, furnace lining, *crucible*, batu tahan api dan *abrasive*. Kaolin banyak dipakai sebagai *filler*, coater dan barang-barang tahan api dan isolator. Kaolin memiliki kandungan Fe berkisar 1% dan memiliki rumus kimia aluminium silikat hidrat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan biasa disebut kaolinit. Kaolin tersusun dari alumina dan *silika* yang berasal dari pelapukan feldspar atau pelapukan batu granit. Hasil analisis kandungan mineral kaolin terdiri dari komponen utama *silika* (SiO_2) 48,70%, alumina (Al_2O_3) 36,73%, air (H_2O) 13,96% dan oksida-oksida logam dalam jumlah kecil (Alkan et al., 2005).

Alumina

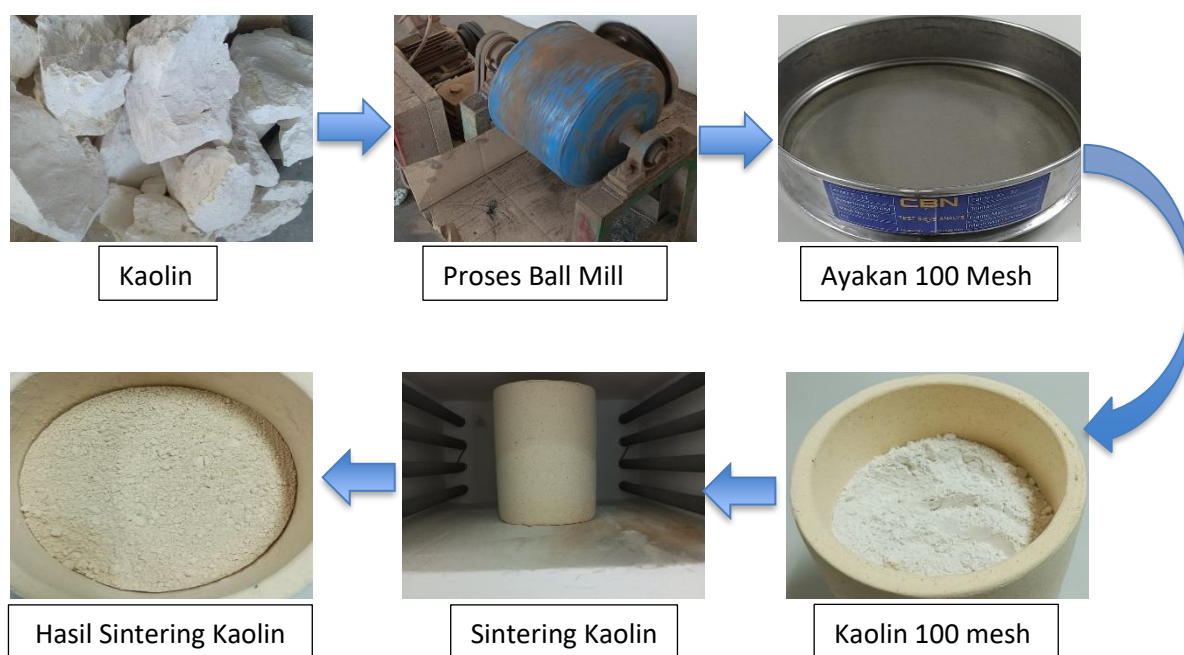
Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia (Al_2O_3). Nama mineralnya dapat disebut juga dengan alumina. Alumina adalah salah satu bahan baku yang paling banyak digunakan untuk aplikasi *refractory* karena sifat tahan panasnya yang tinggi serta ketahanannya terhadap erosi dan korosi yang tinggi dalam berbagai kondisi (De et al., 2015). Alumina merupakan bahan utama untuk sebagian besar produk tahan api yang digunakan dalam aplikasi industri suhu tinggi: seperti proses

manufaktur metalurgi, semen, keramik, kaca dan petrokimia. kandungan Al_2O_3 pada produk keramik khususnya bata tahan api akan meningkatkan nilai ketahanan temperatur kerja maksimum, dapat menghambat panas dengan baik dan tahan korosi serta zat asam yang merusak.

METODE PENELITIAN

Persiapan Bahan Baku Bata Tahan Api

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah kaolin, alumina dan *chamotte* bata tahan api. Kaolin yang akan di *sintering* masih berbentuk batuan dan *chamotte* yang digunakan pada penelitian menggunakan batu bata tahan api SK-34, sehingga dilakukan penghaluskan menggunakan *ball mill* hingga menjadi serbuk. Selanjutnya dilakukan tahapan pengayakan dengan ukuran 10 mesh untuk *agregat* dan 100 mesh untuk *filler*. Selanjutnya kaolin dilakukan proses *sintering* pada temperatur $700^{\circ}C$ selama 60 menit. Proses ini dapat dilihat pada **Gambar 1**



Gambar 1 Proses Sintering

Pembuatan Bata Tahan Api

Table 1. Variasi Komposisi Bata Tahan Api

Sampel	Temperatur Sintering	Komposisi (% wt)		
		Kaolin	Alumina	Chamotte
Sampel 1	$700^{\circ}C$	20	30	50

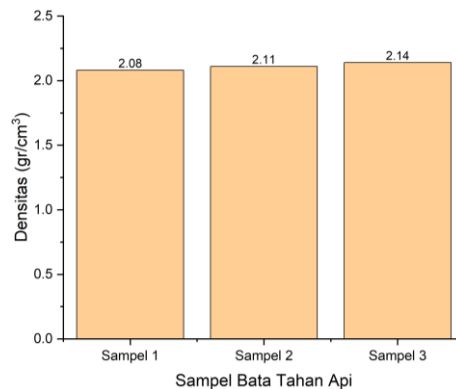
Sampel 2	700 °C	15	35	50
Sampel 3	700 °C	10	40	50

Semua *Raw material* ditimbang dan disesuaikan dengan variasi komposisi, dengan berat total 250 gram. Kemudian dilakukan pencampuran semua bahan dengan penambahan air sebesar 20%, campuran bahan bata tahan api kemudian dimasukkan pada cetakan berbentuk tabung silinder dengan kedalaman cetakan 77 mm dan diameter cetakan 18 mm. Kemudian sampel bata tahan api dipadatkan secara manual menggunakan penekan alat press hidrolik dengan beban penekan sebesar 10 ton yang ditahan selama 3 menit. Bata tahan api yang berhasil dicetak kemudian dikeluarkan dari cetakan, lalu dilakukan proses pengeringan menggunakan mesin oven pada suhu 60°C dengan waktu penahan 60 menit. Sampel bata tahan api kemudian dipanaskan 1300°C dan dinginkan sampai mencapai suhu ruang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Densitas

Pengujian densitas bata tahan api dilakukan dengan standar ASTM C20-00 dimana berat benda kering per satuan volume diukur berdasarkan volume air setelah benda dicelupkan ke tabung yang berisikan air. Grafik hasil pengujian densitas ditunjukkan pada **Gambar 2**



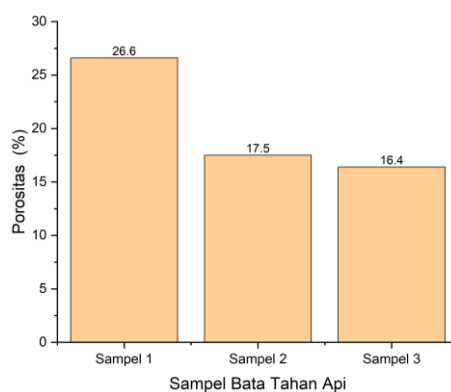
Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian Densitas

Uji densitas yang telah dilakukan pada setiap sampel menghasilkan nilai yang berbeda-beda, sampel bata tahan api 1, 2, dan 3 menghasilkan nilai berturut-turut yaitu 2,08; 2,11 dan 2.14 gr/cm³. Berdasarkan hasil pengujian densitas diketahui bahwa nilai tertinggi yaitu pada sampel 3 dengan nilai 2.14 gr/cm³ dan nilai terendah terdapat pada sampel 1 dengan nilai 2.08 gr/cm³. Sampel 3 unggul karena densitasnya paling tinggi, yang biasanya menunjukkan struktur lebih padat dan potensi kekuatan mekanik lebih baik pada bata tahan api berbasis

kaolin-alumina. Faktor utama yang menyebabkan nilai densitas sampel 3 lebih tinggi 2,14 g/cm³ dibandingkan sampel lain kemungkinan besar berasal dari komposisi material dan proses sintering yang optimal. Sampel 3 memiliki proporsi terbaik dari kaolin, alumina, dan chamotte. Alumina meningkatkan kepadatan karena sifat *refractory* padatnya, sementara *chamotte* (bata matang giling) berfungsi sebagai pengisi yang mengurangi porositas. Sintering kaolin pada 700°C memicu dekomposisi metakaolinite yang membentuk *mullite*, menghasilkan struktur kristal lebih padat. Pembakaran lanjutan pada 1300°C memadatkan partikel, mengurangi rongga udara antarpartikel sehingga menghasilkan densitas tertinggi dan kualitas mekanik superior untuk aplikasi industri tahan api.

Pengujian Porositas

Pengujian porositas bata tahan api dilakukan dengan (ASTM C20-00, 2015), dimana berat benda basah dikurang berat benda kering dibagi volume dan dikalikan 100%. Hasil perhitungan porositas bata tahan api ditunjukkan pada **Gambar 3**



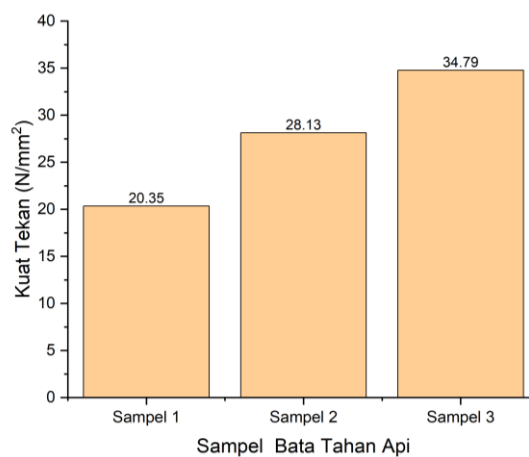
Gambar 3 Hasil Perhitungan Porositas Bata Tahan Api

Pada hasil uji porositas yang telah dilakukan pada setiap sampel menghasilkan nilai yang berbeda-beda, sampel bata tahan api 1, 2, dan 3 menghasilkan nilai berturut-turut yaitu 26,6; 17,5 dan 16,4%. Pada hasil pengujian porositas didapatkan nilai tertinggi porositas sebesar 26,6 % pada sampel 1 dan nilai terendah sebesar 16,4% pada sampel 3. Porositas yang tinggi dapat mempengaruhi sampel bata tahan api terhadap penyerapan air, hal tersebut disebabkan kerapatan struktur yang memiliki rongga ruang kosong atau pori-pori. Porositas mengukur persentase volume rongga (pori-pori) dalam material terhadap volume totalnya. Nilai ini penting untuk bata tahan api berbasis alumina karena memengaruhi sifat seperti kekuatan mekanik. Pada sampel 1 memiliki nilai porositas tertinggi, menandakan struktur lebih porous. Hal ini dapat disebabkan oleh pembakaran kaolinit yang tidak sempurna, kandungan alumina rendah, atau suhu sintering kurang optimal, menghasilkan lebih banyak

pori terbuka. Sampel 2 dan Sampel 3 memiliki nilai porositas rendah, mengindikasikan densifikasi lebih baik. Hasil dari nilai porositas yang rendah akan berpengaruh terhadap kekuatan mekanik lebih tinggi dan stabilitas termal unggul, ideal untuk refractory di tungku.

Pengujian Kuat Tekan

Pada penelitian ini pengujian pada bata tahan api menggunakan kuat tekan dengan standar pengujian (ASTM C133-97, 2014). Pada pengujian kuat tekan menggunakan sampel berbentuk lingkaran. Area pada sampel 1 sampai sampel 3 sebesar 260.16 mm^2 . Hasil pengujian kuat tekan ditunjukkan pada **Gambar 4**



Gambar 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada hasil uji kuat tekan yang telah dilakukan pada setiap sampel menghasilkan nilai yang berbeda-beda, sampel bata tahan api 1, 2, dan 3 menghasilkan nilai berturut-turut yaitu 20,35; 28,132 dan 34,79 N/mm^2 . Pada hasil pengujian diketahui bahwa sampel 1 memiliki nilai kuat tekan yang rendah yaitu $20,35 \text{ N/mm}^2$ dan nilai tertinggi terdapat pada sampel 3 dengan nilai $34,79 \text{ N/mm}^2$, hal ini dapat dipengaruhi oleh nilai porositas. Nilai porositas ini sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan, persentase porositas yang kecil menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan, semakin tinggi nilai porositas maka nilai kuat tekan semakin kecil (Faizah, 2016). Pemanasan kaolin pada temperatur 700°C menyebabkan dehidroksilasi mineral kaolin, yang mengubahnya menjadi metakaolin, suatu bentuk amorf yang sangat reaktif (Abubakar *et al.*, 2020; Görhan, 2020). Proses ini menghilangkan air terikat dan mengubah struktur kristal kaolin menjadi lebih stabil, sehingga meningkatkan reaktivitasnya dalam aplikasi bata tahan api. Kaolin yang dipanaskan pada suhu 700°C cenderung memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih baik, yang berkontribusi pada densitas pengemasan yang lebih tinggi dalam campuran, sehingga meningkatkan kekuatan tekan pada bata tahan api. Kuat tekan mengukur

kemampuan material menahan beban sebelum hancur, krusial untuk bata tahan api berbasis alumina dalam aplikasi tungku atau *furnace*. Nilai ini berkorelasi langsung dengan porositas: semakin rendah porositas (seperti sampel 1: 26,6% → 20,35 N/mm²; sampel 3: 16,4% → 34,79 N/mm²), semakin tinggi kekuatan karena pengurangan cacat mikro dan ikatan fase padat seperti *mullite* atau *corundum*. Sampel 1 (20,35 N/mm²): Terendah, sesuai porositas tinggi (26,6%). Struktur porous menyebabkan konsentrasi tegangan di pori-pori, rentan retak dini—cukup untuk aplikasi ringan tapi di bawah standar high-alumina bricks (>30 N/mm²). Sampel 2 dan 3 (28,13 & 34,79 N/mm²): Meningkatkan tajam seiring porositas turun, menandakan densifikasi optimal dari sintering atau komposisi alumina lebih tinggi. Sampel 3 unggul, memenuhi kriteria *refractory* kelas atas untuk beban tinggi.

KESIMPULAN

Hasil pengujian terhadap densitas, porositas, dan kuat tekan pada tiga sampel bata tahan api menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kualitas material secara bertahap dari sampel 1 hingga sampel 3. Nilai porositas mengalami penurunan signifikan dari 26,6% pada sampel 1 menjadi 16,4% pada sampel 3. Penurunan ini berbanding terbalik dengan peningkatan densitas material, yang naik dari 2,08 g/cm³ menjadi 2,14 g/cm³. Selain itu, kuat tekan juga menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan, dari 20,35 N/mm² pada sampel 1 menjadi 34,79 N/mm² pada sampel 3.

Korelasi ini mengindikasikan bahwa proses densifikasi berlangsung secara optimal, kemungkinan dipengaruhi oleh peningkatan suhu sintering atau komposisi alumina yang lebih tinggi pada sampel dengan kualitas lebih baik. Sampel 3 menunjukkan performa paling unggul karena telah memenuhi standar bata tahan api jenis high-alumina, ditandai dengan porositas di bawah 20% serta kuat tekan di atas 30 N/mm², sehingga layak digunakan untuk aplikasi tungku dengan beban tinggi. Sebaliknya, sampel 1 masih memerlukan perbaikan, terutama dalam mengurangi tingkat porositas agar struktur material menjadi lebih padat dan meningkatkan kekuatan mekaniknya. Optimalisasi proses produksi menjadi langkah penting untuk meningkatkan kualitasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih atas fasilitas, dukungan ilmiah, dan teknis dari Laboratorium Karakterisasi Lanjutan Lampung, Pusat Penelitian Teknologi Pertambangan, Organisasi Riset untuk Nanoteknologi dan Material, Badan Riset dan Inovasi Nasional

melalui E-Layanan Sains. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak David Candra Birawida, S.T., M.Si. atas bimbingannya dalam penelitian tugas akhir saya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, M., Muthuraja, A., Rajak, D. K., Ahmad, N. H., Pruncu, C. I., Lamberti, L., & Kumar, A., (2020), "*Influence of Firing Temperature on the Physical, Thermal and Microstructural Properties of Kankara Kaolin Clay: A Preliminary Investigation*", Materials, Vol. 13 No. 8, Hal. 1872.
- Alkan, M., Hopa, C., Yilmaz, Z., and Guller, H., (2005), "*The Effect of Alkali Concentration and Solid/Liquid Ratio on The Hydrothermal Synthesis of Zeolite NaA from Natural Kaolinite*", Microporous and Mesoporous Materials, Vol. 86, No. 1-3, Hal. 176-184.
- Amin, M., Suryana, Y. I., Isnugroho, K., Aji, B. B., Birawidha, D. C., & Amin, M., Suryana, Y. I., Isnugroho, K., Aji, B. B., Birawidha, D. C., & Hendronursito, Y., (2018), "*Characterization of Refractory Brick Based on Local Raw Material from Lampung Province – Indonesia*", In AIP Conference Proceedings, Vol. 1945, No. 1, Hal. 020047.
- ASTM C133-97. (2021), "*Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories*", ASTM International, Vol. 97, Hal. 1-6.
- ASTM C20-00. (2015), "*Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*", ASTM International.
- De Bilbao, E., Poirier, J., Dombrowski, M., (2015), "*Corrosion of High Alumina Refractories by Al₂O₃-CaO Slag: Thermodynamic and Kinetic Approaches*", Metallurgical Research & Technology, Vol. 112, No. 6, Hal. 607.
- Faizah, S., (2016), "*Mata Pelajaran Kimia (Teknologi dan Rekayasa) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Komposit, Keramik, Refraktori dan Pelumas*", PPPP TK VEDC. Malang.
- Görhan, G., (2020), "*Geopolimer Harç Özelliklerine Metakaolin Kalsinasyon Sıcaklığının Etkisi*", Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, Vol. 20, No. 1, Hal. 83-89.
- Ismail, M. A., Eltayeb, M. A., and Abdel, Mage M. A., (2013), "*Elimination of Heavy Metals from Aqueous Using Zeolite LTA Synthesis from Suandese Clay*", Journal of chemical sciences, International sciences congress association, Vol. 5. Hal. 93-98.
- Siagian, H., & Hutabalian, M., (2012), "*Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis Clay dan Kaolin Alam dengan Aditif Abu Sekam Padi*", Jurnal SAINTIKA (Sains, Teknologi dan Rekayasa), Vol. 12, Hal. 14-23.
- Utomo, A. M., (2010), "*Pengetahuan Teknologi Bahan Keramik*". ISI Denpasar, Denpasar, Bali.