



## ARTIKEL RISET

# Pengaruh Penambahan Asam Fosfat dan Temperatur Pembakaran Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Bodi Keramik Berbahan Baku Tunggal *Red Mud* Kalimantan Barat

Ahmad Mauludin Mubarak<sup>1\*</sup>, Hendrawan<sup>1</sup>, Hafiz Aji Aziz<sup>1</sup>, Kristanto Wahyudi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Kimia FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

<sup>2</sup> Balai Besar Keramik, Kementerian Perindustrian, Bandung, Indonesia

Koresponden: E-mail: [hendrawan@upi.edu](mailto:hendrawan@upi.edu)

## ABSTRAK

*Red mud* merupakan limbah yang bersifat sangat basa yang dihasilkan dari proses Bayer yang mengolah bauksit menjadi alumina. Pada proses ini, dihasilkan limbah *red mud* sebanyak 77ton setiap tahunnya yang akan menimbulkan masalah *geoenvironmental*. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah *red mud* yang berasal dari Kalimantan Barat sebagai bahan baku tunggal bodi keramik untuk mengetahui pengaruh penambahan asam fosfat dan temperatur pembakaran terhadap bodi keramik tersebut. Pada tahap awal dilakukan pengamatan tampilan fisik terhadap bahan *red mud* Kalimantan Barat dengan uji bakar PS-14. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat mekanik bodi keramik berbahan baku tunggal *red mud* yang ditambah dengan asam fosfat 5%, 10% dan 20%. Tahap terakhir dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik pada bodi keramik yang dibakar pada temperatur 1000 °C, 1050 °C dan 1100 °C untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peresapan air, susut bakar, densitas, porositas semu, kuat tekan dan kuat lentur dari bodi keramik. Dari hasil pengamatan diperoleh bahwa *red mud* mentah berwarna merah gelap, *red mud* kering berwarna merah terang yang menandakan kandungan besi oksida yang tinggi dan *red mud* PS-14 berwarna abu-abu gelap yang menandakan adanya perubahan senyawa dari Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> menjadi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan kemudian berubah menjadi FeO. Sifat mekanik bodi keramik meningkat sesuai dengan peningkatan konsentrasi asam fosfat. Sifat fisik dan mekanik bodi keramik semakin baik sesuai dengan kenaikan temperatur pembakaran dan dengan adanya penambahan asam fosfat pada bodi keramik.

Diterima 05 Agu 2021  
Diperbaiki 22 Sept 2021  
Diterbitkan 15 Nov 2021

**Kata Kunci:** bauksit; bodi keramik; proses Bayer; *red mud*

## ABSTRACT

Red mud is a highly alkaline waste produced from the Bayer process which processes bauxite into alumina. In this process, 77 tons of red mud waste is produced annually which will cause geo-environmental problems. This study aims to utilize red mud waste originating from West Kalimantan as a single raw material for ceramic bodies to determine the effect of adding phosphoric acid and combustion temperature to the ceramic body. At the initial stage, observations of the physical appearance of the West Kalimantan red mud material were carried out with the PS-14 fuel test. Furthermore, testing of the mechanical properties of the ceramic body made from a single raw red mud was added with 5%, 10%, and 20% phosphoric acid. The last stage is testing the physical and mechanical properties of the ceramic body which is burned at temperatures of 1000 °C, 1050 °C, and 1100 °C to determine its effect on water infiltration, burn loss, density, apparent porosity, compressive strength, and flexural strength of the ceramic body. From the observations, it was found that raw red mud is dark red, dry red mud is bright red which indicates high iron oxide content and PS-14 red mud is dark grey which indicates a change in the compound from Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> to Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and then turns into FeO. The mechanical properties of the ceramic body increase with the increase in the concentration of phosphoric acid. The physical and mechanical properties of the ceramic body improved according to the increase in combustion temperature and the addition of phosphoric acid to the ceramic body.

**Kata Kunci:** bauxite; ceramic body; red mud, Bayer process.

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah hasil produksi aluminium perlu dilakukan karena penggunaan aluminium terus meningkat sampai sekarang. Aluminium merupakan salah satu logam terpenting yang digunakan dalam masyarakat modern. Sifat fisik campuran aluminium berdampak pada luasnya penggunaannya dalam berbagai produk modern seperti angkutan, kemasan, bangunan, konstruksi, infrastruktur, listrik, alat rumah tangga dan penggunaan lainnya [1]. Produksi aluminium primer dimulai dengan pertambangan bauksit, yang diolah terlebih dahulu menjadi alumina melalui proses Bayer dan kemudian menjadi logam aluminium.

Dalam proses Bayer, bauksit dilarutkan dalam larutan NaOH pekat pada temperatur dan tekanan tinggi. NaOH bereaksi dengan mineral silikat seperti kuarsa dan kaolinit untuk membentuk natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang kemudian bereaksi dengan larutan natrium aluminat membentuk endapan natrium aluminosilikat hidrat sukar larut. Natrium aluminosilikat tersebut mengalami proses kalsifikasi berubah menjadi hidrogarnet yang selanjutnya berubah menjadi alumina, kalsium silikat dan kalsium karbonat selama proses karbonasi dengan  $\text{CO}_2$  [2]. Selain dihasilkan alumina, proses Bayer juga menghasilkan produk samping berupa residu yang tidak larut atau yang dikenal dengan *red mud*.

Limbah *Red mud* merupakan cairan lumpur yang bercampur dengan pasir hasil dari pencucian bauksit. Limbah ini dialirkan ke kolam-kolam pengendapan yang kemudian dialirkan ke lingkungan sekitar atau laut. *Red mud* mentah yang dihasilkan dari limbah *red mud* berwujud padatan berwarna merah tua. *Red mud* mentah yang dihasilkan masih mengandung aluminium dalam bentuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  20-45%,  $\text{SiO}_2$  5-30%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  10-22%,  $\text{CaO}$  0-14%,  $\text{Na}_2\text{O}$  2-8% dan  $\text{TiO}_2$  4-20% [3]. Jumlah *red mud* global diperkirakan mencapai 2,7 miliar ton pada tahun 2007 dan meningkat sebesar 120 juta ton per tahun [1]. Pada saat ini, Indonesia merupakan negara dengan cadangan bauksit terbesar kedelapan di dunia yaitu sebesar 1,322 miliar ton [4].

Penyimpanan *red mud* yang tidak dimanfaatkan menimbulkan masalah *geoenvironmental* karena sifatnya yang sangat basa ( $\text{pH} > 11$ ). Hal ini dapat mengakibatkan kontaminasi dan polusi pada air, tanah dan permukaan serta mempengaruhi vegetasi di wilayah tersebut. Hal ini dapat ditanggulangi dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan memanfaatkan *red mud* sebagai bahan konstruksi alternatif [5].

Penelitian mengenai pemanfaatan *red mud* telah banyak dilakukan karena potensinya dalam berbagai aplikasi seperti produksi keramik, konstruksi dan katalisis [6]. Penggunaan produk keramik berbahan baku *red mud* di sektor konstruksi merupakan pilihan yang sangat sesuai dengan prinsip pembangunan berkelanjutan, karena pada

prinsipnya menggunakan kembali bahan yang saat ini dianggap tidak berguna [7]. Salah satu daerah di Indonesia yang memerlukan penelitian tentang ini adalah Kalimantan Barat, di mana terdapat industri pengolahan alumina dengan kapasitas sebesar 1 juta ton per tahun yang menghasilkan limbah *red mud* yang belum termanfaatkan.

He dkk. (2012) melakukan penelitian tentang pemanfaatan *red mud* sebagai bahan bodi keramik. Pada penelitiannya mereka meneliti pengaruh penambahan kadar tanah liat terhadap sifat fisik dan mekanik berupa densitas, susut bakar, penyerapan air dan kuat tekan serta kandungan mineral dan struktur mikro badan keramik [8]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisik dan mekanik bodi keramik cenderung menjadi lebih baik dengan bertambahnya kadar *red mud*. Meskipun begitu penelitian ini hanya mempertimbangkan pengaruh komposisi bahan bodi keramik. Selain komposisi, Sglavo dkk. (2000) menunjukkan bahwa sifat bodi keramik berbahan baku *red mud* juga dipengaruhi temperatur pembakaran. Hal ini terjadi karena *red mud* bersifat inert pada temperatur di bawah  $900\text{ }^\circ\text{C}$  dan reaktif pada temperatur di atas  $900\text{ }^\circ\text{C}$  [9].

Sifat fisik dan mekanik bodi keramik juga dapat dipengaruhi oleh adanya zat aditif seperti asam fosfat. Hal ini terjadi karena asam fosfat dapat bertindak sebagai perekat bodi keramik [10]. Penambahan asam fosfat memungkinkan terbentuknya ikatan fosfat bodi keramik (CBPC) antara aluminium dengan fosfat. Ikatan aluminium fosfat dapat terbentuk pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan ikatan aluminium silikon sehingga tidak diperlukan temperatur pembakaran yang sangat tinggi [11].

Ikatan CBPC terbentuk melalui reaksi antara sumber kation logam dengan anion fosfat menghasilkan struktur keramik baru yang lebih kompleks sehingga keramik yang dihasilkan cenderung memiliki sifat mekanik yang lebih baik [12].

Pada penelitian terdahulu telah ditunjukkan bahwa penambahan zat aditif dan temperatur pembakaran dapat mempengaruhi sifat bodi keramik. Selain itu He., dkk (2012) telah menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar *red mud* sebagai bahan baku bodi keramik akan semakin baik sifat fisik dan mekanik bodi keramik tersebut. Oleh karena itu pada penelitian ini akan memanfaatkan limbah *red mud* yang berasal dari Kalimantan Barat sebagai bahan baku tunggal bodi keramik. Serta dilakukan pengujian pengaruh penambahan asam fosfat dan temperatur pembakaran terhadap sifat fisik dan mekanik bodi keramik. Sehingga diharapkan dengan adanya penelitian ini akan membantu mengurangi limbah *red mud* dalam skala besar dan didapatkan bodi keramik dengan sifat fisik dan mekanik yang baik.

## 2. METODE

### 2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah alat-alat gelas standar meliputi gelas kimia 1000 ml, 2 buah gelas ukur 100 ml, pipet tetes, kaca arloji, batang pengaduk. Serta alat lainnya diantaranya oven, 2 buah loyang aluminium, mesin giling tumbuk, mesin giling putar, saringan 16 mesh, saringan 40 mesh, saringan 100 mesh, 4 buah baskom, neraca analitik, spatula, cetakan kubus, cetakan balok, XRD, *hydraulic press*, *3 points bending strength* dan *compression machine*.

### 2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah red mud yang berasal dari perusahaan produsen alumina PT Well Harvest Winning (WHW) Kalimantan Barat, asam fosfat dan akuades.

### 2.3 Prosedur

#### 2.3.1 Pengujian Tampilan Fisik Bahan Red Mud Kalimantan Barat Sebelum dan Setelah Pembakaran

Red mud mentah diamati warnanya kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 90°C selama kurang lebih 15 jam. Setelahnya dihaluskan dengan mesin giling tumbuk yang menghaluskan bongkahan besar menjadi lebih kecil. Setelahnya dihaluskan lagi dengan mesin giling putar sehingga dihasilkan red mud kering halus yang diamati warnanya. Selain itu red mud mentah lainnya dibakar pada temperatur 1410 °C. Red mud yang sudah dibakar didinginkan di udara terbuka yang kemudian diamati tampilan fisiknya yang bersifat organoleptik berupa warna setelah dibakar, pori-pori, wujud/fase, gelembung, homogenitas leburan dan homogenitas warna.

#### 2.3.2 Pengujian Pengaruh Penambahan dan Variasi Asam Fosfat serta Variasi Temperatur Pembakaran terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Bodi Keramik Mentah Berbahan Baku Tunggal Red Mud Kalimantan Barat

Red mud mentah dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 90 °C selama kurang lebih 15 jam. Setelahnya red mud kering digiling halus, disaring dengan ukuran 40 mesh 60 mesh dan 100 mesh. Pencampuran bahan red mud berdasarkan gradasi ukuran partikel dengan rasio 1:2:3 untuk ukuran 40 mesh : 60 mesh : 100 mesh. Bahan red mud yang sudah dicampurkan, ditambahkan zat aditif dengan komposisi yang beragam yang ditampilkan pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Komposisi Penambahan Zat Aditif Bodi Keramik dengan Bahan Red mud (1000 gr dan 250 gr)

% Asam Fosfat	% Akuades
5	10
10	10
20	10

Bahan hasil pengkomposisian dicetak menjadi bentuk balok dan kubus menggunakan *hydraulic press* dengan tekanan 100–150 kg/cm<sup>2</sup>. Bodi keramik mentah yang sudah dicetak dibiarkan di udara terbuka selama 7 hari. Selanjutnya diuji sifat mekanik dengan menguji kuat lentur untuk bodi keramik berbentuk balok. Sedangkan bodi keramik berbentuk kubus diuji kuat tekannya.

Tabel 2. Komposisi Penambahan Zat Aditif Bodi Keramik dengan Bahan Red mud (2400 gr dan 600 gr)

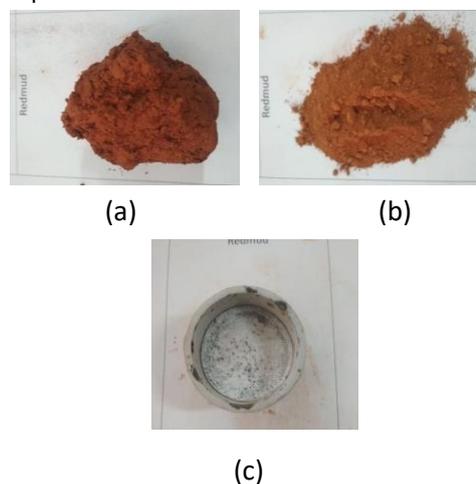
% Asam Fosfat	% Akuades
5	10
-	10

Bahan hasil pengkomposisian dicetak menjadi bentuk balok dan kubus menggunakan *hydraulic press* dengan tekanan 100–150 kg/cm<sup>2</sup>. Bodi keramik mentah yang sudah dicetak dibakar pada suhu 1000 °C, 1050 °C dan 1100 °C. Selanjutnya diuji sifat fisik dan mekanik dengan menguji susut bakar, densitas, porositas, peresapan air dan kuat lentur untuk bodi keramik berbentuk balok. Sedangkan bodi keramik berbentuk kubus diuji kuat tekannya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Tampilan Fisik Bahan Red Mud Kalimantan Barat Sebelum dan Setelah Pembakaran

Pengamatan tampilan fisik red mud Kalimantan Barat dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar red mud Kalimantan Barat. Perbandingan tampilan fisik red mud mentah, red mud kering dan red mud hasil pembakaran ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perubahan warna red mud (a) Bongkahan red mud mentah (b) Red mud hasil Pengeringan pada temperatur 90 °C dan penggilingan (c) Red mud yang dibakar pada 1410 °C (PS 14)

Red mud mentah berwarna merah gelap akibat adanya kandungan senyawa besi dan air. Red mud yang dikeringkan dengan oven pada temperatur 90 °C berwarna merah terang karena kandungan besi oksida yang tinggi dan kadar air yang rendah. Red mud hasil pembakaran pada 1410 °C

*Chemica Isola*, Volume 1, Isu 2, November, 2021, 42-48 (RM PS-14) berwarna abu-abu gelap yang diakibatkan oleh transformasi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi FeO pada temperatur di atas 1000 °C. FeO akan menjadi fluks yang sangat kuat bagi bodi keramik sehingga menahan CO<sub>2</sub> yang masih berada dalam bodi keramik dan membentuk *black core*.

Karakteristik tampilan fisik lainnya pada *red mud* hasil pembakaran 1410 °C (RM PS-14) ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil pengamatan terhadap PS-14, tampak bahwa *red mud* telah lebur. Selain itu terbentuk juga pori-pori yang dihasilkan oleh pelepasan gas CO dan gas CO<sub>2</sub> akibat pemanasan pada temperatur di atas 1000 °C.

**Tabel 3. Tampilan Red Mud Setelah Dilakukan Pembakaran pada Temperatur 1410 °C**

No	Parameter	Mutu Tampak
1	Pori-pori	Sedikit
2.	Wujud/Fase	Padatan gelas
3.	Gelembung	Terbentuk
4.	Homogenitas Leburan	Terbentuk
5.	Homogenitas Warna	Tidak merata

### 3.2. Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Fosfat terhadap Sifat Mekanik Bodi Keramik Mentah Berbahan Baku Tunggal *Red Mud* Kalimantan Barat

Besi oksida dan aluminium oksida yang berada dalam bodi keramik yang ditambahi zat aditif asam fosfat pada temperatur ruang akan bereaksi dengan asam fosfat membentuk *chemically bonded phosphate ceramics* (CBPC) mengikuti mekanisme reaksi berikut:

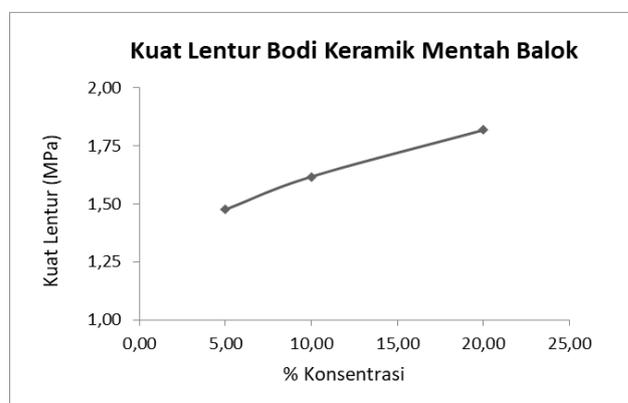


Asam fosfat berfungsi sebagai perekat yang membantu mempertahankan bentuk keramik pada bodi keramik mentah prabakar. Hal ini terjadi karena tidak adanya proses kompresi yang terlibat selama proses pembentukan *castables*. Sifat mekanik bodi keramik mentah yang dibuat dengan campuran asam fosfat lebih tinggi daripada yang dibuat tanpa asam fosfat<sup>11</sup>.

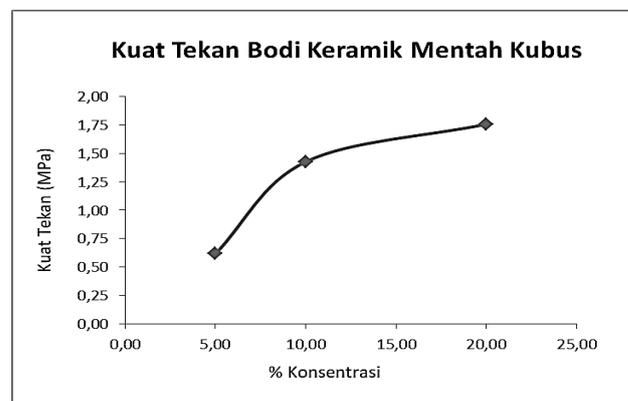
Hasil uji kuat lentur ditunjukkan pada Gambar 2 yang menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi asam fosfat maka nilai kuat lentur bodi keramik semakin tinggi. Pada bodi keramik dengan konsentrasi asam fosfat 5% memiliki nilai kuat lentur 1,48 MPa, bodi keramik dengan konsentrasi asam fosfat 10% memiliki nilai kuat lentur 1,62 MPa sedangkan pada bodi keramik dengan konsentrasi asam fosfat 20% memiliki nilai kuat lentur 1,82 MPa. Kenaikan nilai kuat lentur cukup konstan dengan semakin besarnya konsentrasi asam fosfat. Hal ini terjadi karena makin besar konsentrasi asam fosfat maka akan semakin kuat ikatan keramik amorf-kristalin yang akan memperkuat bodi keramik sehingga nilai kuat lentur akan semakin besar.

Hasil uji kuat tekan bodi keramik mentah diperlihatkan pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi asam fosfat maka nilai kuat tekan bodi keramik semakin tinggi. Pada bodi keramik dengan konsentrasi asam fosfat 5% memiliki nilai kuat tekan 0,6173 MPa, bodi keramik dengan konsentrasi asam fosfat 10% memiliki nilai kuat tekan 1,4275 MPa sedangkan pada bodi keramik dengan konsentrasi asam fosfat 20% memiliki nilai kuat tekan 1,7582 MPa.

Kenaikan nilai kuat tekan cukup konstan dengan semakin besarnya konsentrasi asam fosfat. Semakin besar konsentrasi asam fosfat maka mengakibatkan ikatan keramik amorf-kristalin semakin kuat yang akan memperkuat bodi keramik sehingga nilai kuat tekan semakin besar. Hasil data menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi asam fosfat berbanding lurus dengan nilai kuat tekan.



**Gambar 2. Hasil Uji Kuat Lentur Bodi Keramik Balok Variasi Konsentrasi Asam Fosfat**



**Gambar 3. Hasil Uji Kuat Tekan Bodi Keramik Kubus Variasi Konsentrasi Asam Fosfat**

### 3.3. Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Fosfat dan Temperatur Pembakaran terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Bodi Keramik Mentah Berbahan Baku Tunggal *Red Mud* Kalimantan Barat

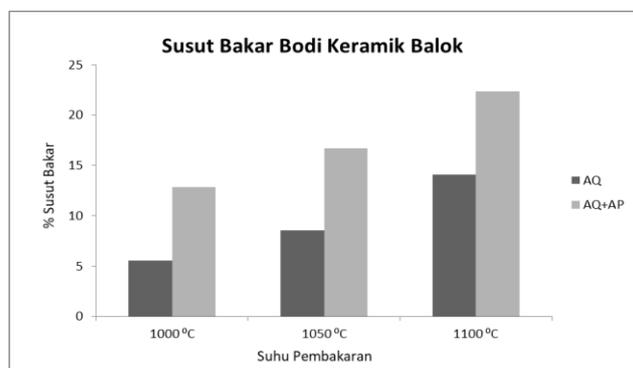
Sifat fisik dan mekanik bodi keramik berbahan baku tunggal *red mud* Kalimantan Barat didapatkan berdasarkan hasil uji densitas, uji porositas air, uji kuat lentur, uji susut bakar, uji peresapan air dan uji kuat tekan. Tiga variasi

temperatur pembakaran dilakukan untuk menentukan temperatur pembakaran optimal yang menghasilkan bodi keramik dengan karakteristik sifat fisik dan mekanik yang terbaik.

Sampel yang sudah dicetak belum memiliki sifat mekanik yang baik, oleh karena itu dilakukan pembakaran supaya terjadi proses *sintering* sehingga ikatan antar partikel menjadi lebih kuat. Temperatur pembakaran yang digunakan adalah 1000 °C, 1050 °C dan 1100 °C.

Setelah pembakaran pada temperatur di atas 1000 °C akan terjadi pelepasan air yang terikat sehingga penyusutan ukuran bodi keramik yang terjadi lebih signifikan. Selain itu besi oksida yang berada dalam bodi keramik akan bereaksi dengan asam fosfat dan akan mempermudah terbentuknya fase gelas pada temperatur di atas 1000 °C.

Gambar 4 menunjukkan diagram batang hasil uji susut bakar. Pada pengujian ini didapatkan hasil bahwa bodi keramik yang ditambahi dengan asam fosfat memiliki nilai susut bakar tertinggi 12%-22%. Data juga menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pembakaran maka semakin besar nilai susut bakar.



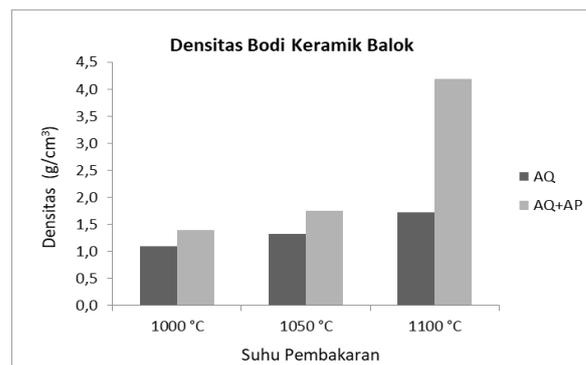
Gambar 4. Hasil Uji Susut Bakar Bodi Keramik

Semakin tinggi temperatur pembakaran maka akan semakin banyak air dan gas yang terlepas dari bodi keramik sehingga meninggalkan rongga-rongga pada bodi keramik. Setelah proses pemanasan berhenti, molekul yang masih ada di dalam bodi keramik akan mengisi rongga tersebut sehingga bodi keramik akan menyusut. Oleh karena itu semakin tinggi suhu pembakaran maka nilai susut bakar akan semakin besar. Selain itu adanya tambahan asam fosfat ke dalam bodi keramik akan memperkuat struktur keramik sehingga susut bakar yang terjadi setelah pembakaran tidak sebesar pada bodi keramik tanpa penambahan zat aditif asam fosfat.

Gambar 5 menunjukkan grafik uji densitas pada bodi keramik. Penentuan densitas dilakukan pada masing-masing bodi keramik berbentuk potongan balok. Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pembakaran maka semakin besar densitasnya. Komposisi AQ+AP dan AQ (tanpa asam fosfat) memiliki nilai densitas yang hampir sama untuk temperatur bakar awal 1000 °C yaitu sekitar 1,058 – 1,098 gr/cm<sup>3</sup>. Ketika temperatur dinaikkan menjadi 1050 °C, densitas mulai

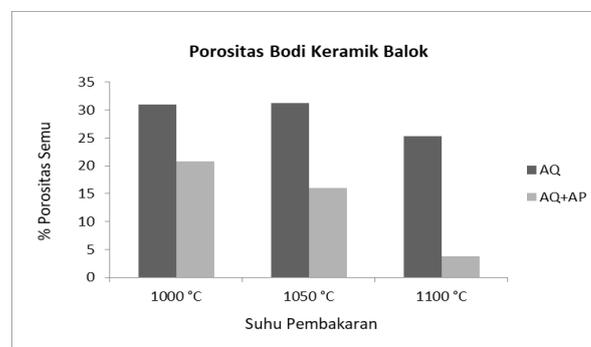
meningkat karena bodi yang semakin sinter dengan komposisi AQ+AP yang paling mengalami tingkat kenaikan densitas yang tinggi yaitu sebesar 65,8 %. Ketika temperatur bakar dinaikkan menjadi 1100 °C densitas pada dua komposisi semakin meningkat.

Nilai densitas yang semakin tinggi disebabkan oleh bodi keramik yang semakin sinter dengan naiknya temperatur pembakaran dan pengaruh penambahan asam fosfat. Hal ini disebabkan karena bodi keramik tanpa penambahan asam fosfat tidak mengalami ikatan yang sempurna antar partikel sehingga rongga-rongga yang ada didalam bodi keramik sangat banyak.



Gambar 5. Hasil Uji Densitas Bodi Keramik

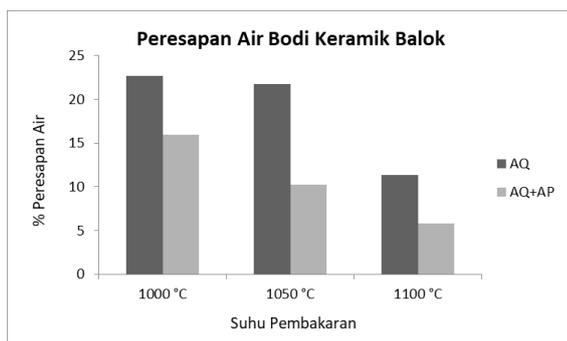
Data porositas didapatkan dari nilai bodi keramik basah (direndam dalam air) dan nilai bodi keramik kering. Porositas tinggi menyebabkan kualitas bodi keramik yang buruk dan bodi keramik lebih mudah pecah saat digunakan. Gambar 6 menunjukkan grafik uji porositas pada bodi keramik. Dari hasil uji porositas menunjukkan nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai densitas yang mana kenaikan temperatur pembakaran akan menyebabkan nilai porositas menjadi semakin kecil. Porositas terkecil dimiliki oleh bodi keramik dengan komposisi asam fosfat sekitar 3-20 % baik itu pada temperatur 1000 °C, 1050 °C ataupun 1100 °C. Sedangkan nilai porositas terbesar dimiliki oleh bodi keramik dengan komposisi aquadest sekitar 25-30 % pada semua temperatur pembakaran.



Gambar 6. Hasil Uji Porositas Bodi Keramik

Dengan adanya penambahan asam fosfat pada proses pembakaran, menyebabkan partikel yang terdapat pada bodi keramik saling merapat dan mengisi rongga kosong,

sehingga jarak partikel menjadi semakin dekat yang berimplikasi dan membuat nilai porositas bodi keramik lebih rendah dibandingkan bodi keramik tanpa adanya penambahan asam fosfat.

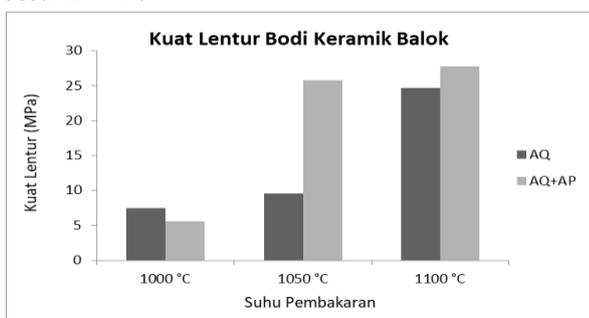


**Gambar 7.** Hasil Uji Peresapan Air Bodi Keramik

Gambar 7 menunjukkan grafik uji peresapan air pada bodi keramik menggunakan bahan baku *red mud*. Sama seperti uji porositas, pada hasil pengujian peresapan air menunjukkan semakin tinggi temperatur pembakaran maka semakin rendah nilai peresapan airnya. Penyerapan air dengan komposisi asam fosfat pada bodi keramik memiliki nilai terendah sekitar 5-15 % pada semua variasi temperatur bakar. Sedangkan nilai penyerapan air tertinggi dimiliki oleh aquadest sekitar 12-23 % pada semua variasi temperatur bakar. Semakin besar ruang pori yang terkandung dalam material batu bata, semakin besar pula tingkat penyerapan air, sehingga ketahanan batu bata akan berkurang. Semakin kecil densitas maka daya serap air akan semakin besar, semakin tinggi densitas bodi keramik maka ikatan antar partikel semakin kompak sehingga rongga udara dalam batu bata mengecil.

Selama proses pembakaran, materi bergerak dari permukaan partikel ke bidang kontak antar partikel sehingga bentuk pori berubah menjadi bentuk yang mirip dengan saluran terisolasi. Selain itu, dengan meningkatnya temperatur pembakaran akan mengakibatkan perubahan volume ruang hampa pada keramik sehingga akan mempengaruhi kekuatan lenturnya.

Gambar 8 menunjukkan grafik uji kuat lentur yang merupakan sifat mekanik produk bodi keramik. Berdasarkan pengujian dapat dinyatakan bahwa komposisi AP memiliki nilai kuat mekanik yang tertinggi yaitu kuat lentur sekitar 5-27 MPa untuk semua variasi temperatur bakar. Kuat lentur komposisi AQ pada temperatur 1100°C sebesar 24 MPa.

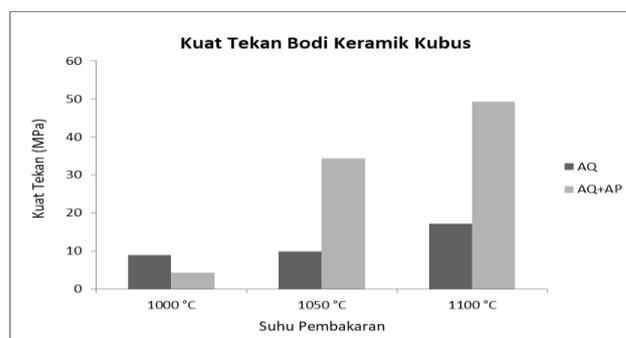


**Gambar 8.** Hasil Uji Kuat Lentur Bodi Keramik

Pada pengujian pengaruh variasi asam fosfat terhadap kuat lentur bodi keramik tanpa pembakaran menunjukkan nilai kuat lentur yang rendah yaitu sekitar 1,48-1,82 MPa. Hal ini menunjukkan dengan adanya proses pembakaran pada bodi keramik akan mengakibatkan terjadinya penyempitan dan pengurangan jumlah pori-pori bodi keramik yang mana akan membuat bodi keramik menjadi semakin padat sehingga kuat lenturnya meningkat. Namun berdasarkan hasil penelitian pada temperatur pembakaran 1000 °C, penambahan asam fosfat 5% pada bodi keramik membuat nilai kuat lentur bodi keramik menjadi lebih rendah. Hal ini dapat disebabkan karena kurangnya tingkat kerapatan atau tingkat kepadatan material bodi keramik dengan perekat tersebut dan temperatur pembakaran yang masih rendah.

Gambar 9 menunjukkan grafik uji kuat tekan. Dari hari pengujian menunjukkan kuat tekan bodi keramik dengan adanya penambahan asam fosfat sekitar 4-49 MPa untuk semua variasi temperatur pembakaran. Kuat tekan bodi keramik dengan perekat asam fosfat dan pada temperatur pembakaran 1050 °C dapat meningkatkan nilai kuat tekan bodi keramik yang ada. Hal ini menunjukkan bodi keramik pada komposisi tersebut telah memiliki kemampuan untuk mengikat partikel serta mengisi rongga pori *red mud* secara maksimal. Kekuatan pecah bodi keramik yang dibuat dengan campuran asam fosfat lebih tinggi daripada yang dibuat tanpa asam fosfat (Sahnoun & Bouaziz, 2012) Namun pada temperatur pembakaran 1000 °C bodi keramik dengan perekat asam fosfat 5% memiliki nilai kuat tekan terendah. Hal ini disebabkan karena kurangnya tingkat kerapatan atau tingkat kepadatan material bodi keramik dengan perekat tersebut dan temperatur pembakaran yang masih rendah.

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya mengenai pengaruh variasi konsentrasi asam fosfat terhadap nilai kuat lentur bodi keramik tanpa pembakaran, nilai kuat tekan bodi keramik mentah lebih rendah dibandingkan bodi keramik yang mengalami pembakaran yaitu sekitar 0,62-1,76 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur pembakaran akan meningkatkan kekuatan mekanik berupa kuat tekan bodi keramik.



**Gambar 9.** Hasil Uji Kuat Tekan Bodi Keramik

Berdasarkan penelitian pengaruh penambahan asam fosfat dan variasi temperatur pembakaran, dapat diketahui hubungan densitas dengan kuat tekan dan nilai penyerapan air. Hasil diperoleh nilai densitas berbanding lurus dengan

*Chemica Isola*, Volume 1, Isu 2, November, 2021, 42-48 nilai kuat tekan dan berbanding terbalik dengan peresapan air. Semakin rapat material sampel bodi keramik akan mengakibatkan nilai kuat tekan meningkat dan akan menyebabkan nilai penyerapan airnya semakin kecil. Artinya bahwa semakin besar densitas bodi keramik maka ikatan antar partikel semakin kompak dan kuat sehingga rongga udara dalam bodi keramik mengecil. Keadaan ini yang menyebabkan air atau uap air menjadi sulit untuk mengisi rongga tersebut sehingga nilai peresapan air dan porositas kecil. Dari hasil penelitian menunjukkan bodi keramik berbahan baku tunggal *red mud* Kalimantan Barat dengan penambahan asam fosfat dan temperatur pembakaran yang tinggi (1100 °C) memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik.

#### 4. KESIMPULAN

Pada tampilan fisik *red mud* terjadi perubahan warna dari *red mud* Kalimantan Barat mentah menjadi *red mud* kering dari merah gelap menjadi merah terang. Sementara itu *red mud* PS-14 memiliki warna abu-abu, dan sifat fisik lainnya yang teramati adalah bersifat porus, berwujud/fase padatan gelas, berbintik gelembung, leburan fisik homogen dan homogenitas warna rendah.

Peningkatan konsentrasi asam fosfat pada bodi keramik mentah berbahan baku tunggal *red mud* Kalimantan Barat dapat meningkatkan kuat lentur dan kuat tekan bodi keramik. Penambahan asam fosfat 5% menyebabkan susut bakar, densitas, kuat lentur dan kuat tekan pada bodi keramik meningkat. Tetapi pada temperatur pembakaran 1000 °C, dengan adanya penambahan asam fosfat 5% nilai kuat lentur dan kuat tekan bodi keramik menurun. Nilai porositas dan peresapan air bodi keramik dengan adanya penambahan asam fosfat 5% menjadi lebih kecil. Meningkatnya temperatur pembakaran pada bodi keramik berbahan baku tunggal *red mud* dapat meningkatkan nilai susut bakar, densitas, kuat lentur dan kuat tekan. Namun dengan meningkatnya temperatur pembakaran akan menurunkan nilai porositas semu dan peresapan air pada bodi keramik berbahan baku tunggal *red mud* Kalimantan Barat.

Berdasarkan temuan penelitian, sebagai tindak lanjut penelitian ini disarankan penelitian ini untuk dilanjutkan pada aplikasi bahan baku limbah *red mud* sebagai produk keramik, misal ubin keramik gol BII, genteng keramik, berglasir, *terracotta* dan lainnya.

#### 5. KONTRIBUSI PENULIS

AMM, H, HA, KW mendesain studi. AMM, KW melakukan pekerjaan laboratorium. AMM, KW menganalisis data. AMM, H, HA menulis naskah. Semua penulis membaca dan menyetujui versi final naskah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Power, M. Grafe, dan C. Klauber, "Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices," *Hydrometallurgy*, vol. 108, issue 1-2, 33-45, 2011.
- [2] L.Q. Xie, T.A. Zhang, G.Z. Lv, dan X.F., Zhu, "Direct Calcification–Carbonation Method for Processing of Bayer Process Red Mud," *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, vol. 59, pp. 142-147, 2018.
- [3] A. Zulfikar, "Analisis Kandungan Logam pada Limbah Tailing (Red Mud) Tambang bauksit," *Dinamika Maritim*, vol. 4, pp. 1-8, 2014.
- [4] H. Haryadi, "Analisis lost opportunity (LO) bauksit Indonesia," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 12, no. 1, pp. 45-57, 2016.
- [5] S. Alam, S.K. Das, dan B.H. Rao, "Strength and durability characteristic of alkali activated GGBS stabilized red mud as geo-material," *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 932-942, 2019.
- [6] S.F. Kurtoğlu, S. Soyer-Uzun, dan A. Uzun, "Tuning Structural Characteristics of Red Mud by Simple Treatments," *Ceramics International*, vol. 42, issue 15, pp. 17581-17593, 2016.
- [7] R.J. Galán-Arboledas, M.T. Cotes-Palomino, C. Martínez-García, J.M. Moreno-Maroto, M. Uceda-Rodríguez, dan S. Bueno, "Ternary diagrams as a tool for developing ceramic materials from waste: relationship between technological properties and microstructure," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, pp. 35574–35587, 2019.
- [8] H. He, Q. Yue, Y. Qi, B. Gao, Y. Zhao, H. Yu, J. Li, Q. Li, dan Y. Wang, "The effect of incorporation of red mud on the properties of clay ceramic bodies," *Applied Clay Science*, vol. 70, pp. 67-73, 2012.
- [9] V.M. Sglavo, S. Maurina, A. Conci, A. Salviati, G. Carturan, dan G. Cocco, "Bauxite 'red mud' in the ceramic industry. Part 2: production of clay-based ceramics," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 20, issue 3, pp. 245-252, 2000.
- [10] R. Sarkar, "Binders for Refractory Castables: An Overview," *Interceram - International Ceramic Review*, vol. 69, pp. 44–53, 2020.
- [11] R.D. Sahnoun dan J. Bouaziz, "Sintering characteristics of kaolin in the presence of phosphoric acid binder," *Ceramics International*, vol 38, issue 1, pp. 1-7, 2012.
- [12] A.S. Wagh dan S.Y. Jeong, "Chemically Bonded Phosphate Ceramics: I, A Dissolution Model of Formation," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 86, issue 11, pp. 1838-1844, 2003.