

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

##### **2.2.1 Abu Batubara**

Abu batubara ialah hasil sisa dari pembakaran batubara yang dapat mengakibatkan polusi udara (tekmira, 2010). Proses pembakaran batubara akan menghasilkan abu batubara terutama pada unit pembangkit uap (boiler) (Edy, B. 2007). Proses pembakaran batubara akan menghasilkan dua macam bentuk abu batubara yaitu abu terbang (*Fly ash*) serta abu dasar (*bottom ash*) dengan masing – masing komposisinya adalah 5 – 15 % merupakan abu dasar sedangkan untuk abu terbang sekitar 85% - 95% (JCOAL, 2008). Abu batubara bersifat *pozzolon*, yaitu bahan dengan kandungan senyawa silika dan alumunium (Lincolen, 2017).

Perbedaan dari abu terbang dan abu dasar juga dibedakan berdasarkan ukuran partikel serta berat jenisnya. Abu dasar memiliki ukuran partikel yang lebih kasar yaitu 20 – 50 mesh serta abu laying memiliki ukuran 100 – 200 mesh (wahyuni, 2010)

##### **2.2.2 Abu terbang (*Fly ash*)**

Abu terbang atau *Fly ash* adalah hasil sisa dari pembakaran batubara yang berbentuk butiran halus yang terbang ke udara ketika proses pembakaran batubara. Abu terbang normal dan juga abu terbang kelas C merupakan dua kelompok dari *Fly ash*. Abu terbang normal (kelas F) ialah hasil sisa dari pembakaran batubara berjenis antrasit atau *bitomius* sedangkan untuk abu terbang kelas c merupakan hasil sisa pembakaran batubara berjensi *lignite* atau *subbitumius*, abu terbang kelas C memiliki kandungan kapur (*lime*) dengan persentase beratnya 10 % (Mulyono, 2005). Menurut ASTM c618 (2016), perbedaan utama dari abu terbang kelas F dan C terletak dari banyaknya kadar silika, alumunium, serta besi, untuk abu terbang kelas F memiliki jumlah kadar oksida silika, alumunium dan besi lebih dari 70% sedangkan untuk abu terbang kelas C memiliki kada oksida kurang dari 70%. Jenis pemanfaatan FA salah satunya digunakan sebagai material substitusi *fireclay* dalam

produksi firebrick. FA yang ditambah pada campuran *firebricks* bersifat pozzolan, sehingga dapat menjadi additif mineral yang baik untuk pembuatan batu bata yang tahan terhadap api (Adibroto dkk, 2018)

Komponen utama dari abu terbang terdiri dari silika ( $\text{SiO}_2$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan sisanya kalsium, karbon, belerang, dan magnesium. Komponen penyusun unsur kimia dari abu terbang batubara ini dipengaruhi dari jenis batubara yang dilakukan pembakaran serta teknik dari penyimpanannya (Nurhayati, D.N., Bakti M., dkk 2012).

Tabel 2.1 Komposisi Kimia FA dari Batubara  
(Retno, 2008)

Komponen	Bituminous (%)	Sub-bituminous (%)	Lignite (%)
$\text{SiO}_2$	20 – 60	40 – 60	15 – 45
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5 – 35	20 – 30	10 – 25
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO	1 – 12	5 – 30	15 – 40
MgO	0 – 5	1 – 6	3 – 10
$\text{SO}_3$	0 – 4	0 – 2	0 – 10
$\text{Na}_2\text{O}$	0 – 4	0 – 2	0 – 6
$\text{K}_2\text{O}$	0 – 3	0 – 4	0 – 4

Menurut Lauw (2013), abu terbang juga dapat dimanfaatkan menjadi campuran beton dikarenakan memiliki sifat :

1. Abu terbang yang memiliki ukuran partikel sangat halus dapat mengisi celah kecil dalam komposisi dari adukan beton sehingga kepadatan dari beton dapat meningkat dan kedap terhadap air serta lebih tahan terhadap abrasi.
2. Memiliki sifat senyawa yang mengikat dalam kadar tertentu sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton yang akan dihasilkan.
3. Memiliki bentuk partikel bulat (*Spherical shape*) yang akan menghasilkan *ball bearing effect* sehingga memiliki kemampuan alir (*flowability*) dalam melumasi adukan dari pasta atau mortar semen.

4. Memiliki biaya produksi material *refactory* yang lebih murah karena menggunakan abu terbang (*Fly ash*) dibandingkan menggunakan *Fire Clay*.

### 2.2.3 Refraktori

Refraktori merupakan bahan nonlogam yang bersifat tahan terhadap panas yang biasanya digunakan oleh *industri* yang menggunakan temperatur tinggi seperti penggunaan sebagai bahan tungku dan lain sebagainya. Berdasarkan standar ASTM C71 refraktori merupakan bahan nonmetalik yang mempunyai sifat fisika dan kimia sesuai kegunaannya sebagai struktur atau komponen dari sistem dengan suhu lingkungan diatas 1000°F (583°C) (ASM Handbook, 2005). Penggunaan dari bahan refraktori dalam suhu tinggi biasanya digunakan untuk furnace peleburan logam, *industri* semen, untuk *industri* yang menggunakan pembangkit energi, ataupun sebagai tangka kaca dalam *industri* pembuatan gelas.

Berdasarkan bentuknya dari bahan refraktori dapat dibedakan menjadi dua yaitu bata (*shaped*) dan monolitik (*unshaped*). Refraktori bata (*shaped*) tersedia dengan banyak ukuran serta bentuk seperti lurus, kecil, kubus, kubah, belahan, tabung, dan lain – lain. Refraktori monolitik berupa campuran butiran serbuk dari mineral (*agregat*) serta memiliki bahan pengikat baik cair maupun kimia cair lainnya yang memiliki sifat pengikat, sehingga ketika pencampuran didapatkan hasil yang homogen dan bersifat plastis. Pemakaian dari refraktori monolitik ini digunakan segera setelah proses pencampuran. Berdasarkan bentuk refraktori dapat dikategorikan menjadi empat yaitu, bata tahan api (*refractory brick*), *castabel*/Beton refraktori (*refactory castabel*), Mortar refraktori (*refactory mortars*). Dan Refraktori anchor (Pulungan H. B., 2019).

Refraktori memiliki standar guna untuk pengendalian mutu serta memilih bahan tahan api ketika digunakan dalam suhu tinggi, untuk itulah refraktori harus memiliki sifat fisik dan kimia yang sesuai agar menghasilkan produk refraktori yang baik dalam kualitas serta manufakturnya. Menurut Charles (2004), sifat yang harus diperhatikan ketika mendesain suatu refraktori terdiri dari sifat fisik (massa

jenis, porositas, kekuatan, dan abrasi), Panas Thermal (Ekspansi termal, konduktivitas termal), dan sifat kimia (Korosi).

#### 1. Bulk Massa jenis dan Porositas

Bulk Massa jenis merupakan kerapatan atau massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ ) dari suatu material dengan mengukur perbandingan dari rasio berat (kg) terhadap volume ( $\text{m}^3$ ) yang ditempati. Sedangkan porositas merupakan ukuran pori – pori terbuka dari refraktori, porositas berfungsi untuk melawan penetrasi dari logam, terak dan fluks. bulk massa jenis ini digunakan sebagai pengukuran tidak langsung terhadap konduktivitas termal atau kemampuannya dalam menyimpan panas dari refraktori dikarenakan kaitan semakin tinggi massa jenis atau kerapatan dari suatu material maka porositas dari material tersebut akan semakin rendah.

#### 2. *Strength* (Kekuatan)

Kekuatan dari suatu material dapat dipengaruhi oleh kondisi dingin dan panas, Pengujian kekuatan material dalam kondisi dingin atau suhu ruang berfungsi untuk melihat tingkat pembentukan ikatan selama produksi serta digunakan untuk melihat kemampuan material ketika proses penanganan dan pengiriman dalam aplikasi suhu yang relatif rendah. Uji kekuatan material ketika dipengaruhi suhu tinggi berguna untuk melihat kemampuan dari material bertahan terhadap ekspansi termal, termal shock serta beban mekanis. Dalam pengujian kekuatan refraktori diukur dengan pengujian kekuatan dingin (*cold crushing strength*). Pengujian kekuatan dingin ini juga bisa digunakan untuk indikasi langsung terhadap refraktori mengenai ketahanannya terhadap abrasi.

#### 3. Konduktivitas Panas (*Thermal Konduktivitas*)

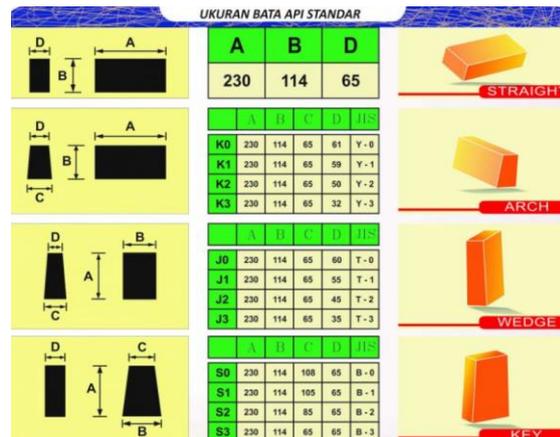
Konduktivitas panas merupakan pengukuran dari refraktori terhadap kemampuannya dalam memindahkan panas dari permukaan yang panas ke permukaan dingin ketika beroperasi dalam suhu tinggi. Pengujian konduktivitas termal digunakan untuk melihat nilai perpindahan panas pada refraktori. Refraktori seharusnya memiliki nilai konduktivitas panas yang rendah karena fungsi dari refraktori itu sendiri untuk mempertahankan panas sehingga tidak mudah untuk merambat keluar.

#### 4. Korosi

Refraktori akan cepat mengalami erosi atau korosi jika terkena cairan yang bersifat korosif pada suhu tinggi sehingga kuat material refraktori akan semakin berkurang. Tingkat korosi pada material refraktori tergantung pada butiran tahan api dan sistem ikatan kimia dari refraktori itu sendiri, jadi selama komposisi butiran tahan api dan sistem ikatan kimia dari refraktori tersebut diperhatikan dengan cermat maka sifat tahan korosi dari refraktori akan tetap terjaga (Kurniasari, P.T. 2017).

#### **2.2.4 Bata Tahan Api (*Fireclay Bricks*)**

Bata tahan api merupakan jenis refraktori yang terdiri dari unsur silika dan alumina yang biasanya digunakan untuk melapisi ruang perapian pada *industri* besi baja, *industri* semen, dan lain sebagainya. Firebrick terdiri kandungan Silika kurang dari 78% dan kandungan alumina kurang dari 44%. Penggunaan *Fly ash* dalam pembuatan fire clay bricks dapat digunakan karena penambahan *Fly ash* dapat meningkat sifat fisik seperti menurunnya konduktifitas panas pada bata tahan api. Pengklasifikasian bata tahan api juga pada umumnya menggunakan istilah SK (Seger Kegel) yang juga menstandarkan material *refractory* berdasarkan *Maximal Service Temperature* serta penulisan SK dilanjutkan dengan penomoran berdasarkan angka cone standar contohnya SK 34. Pembagian kelas ini berdasarkan rentang kandungan alumina dan silika serta nilai PCE (*Pyrometric Cone Equivalent*)/*Maximal Service Temperature*. PCE ini merupakan properties dari ketahanan material refraktori terhadap suhu dengan dilakukan pengujian membentuk sampel seperti cone menggunakan standar ukuran yang telah ditentukan. (Sukkae, 2018).



Gambar 2.1 Ukuran standar Firebricks  
(Benteng Api, 2021)

Tabel 2.2 Komposisi material pada bata tahan api  
(PT BAT, 2022)

<i>Brick</i>	PCE (SK)	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Max. Service Temp. (°C)
SK-30	30	≥ 68	≥ 27	1150
SK-32	32	≥ 63	≥ 32	1250
SK-33	33	≥ 60	≥ 35	1350
SK-34	34	≥ 55	≥ 40	1400
SK-35	35	≥ 50	≥ 45	1450
SK-36	36	≥ 43	≥ 52	1500
SK-37	37	≥ 36	≥ 60	1550
SK-38	38	≥ 28	≥ 68	1600

Tabel 2.3 Sifat Fisik *Firebricks*

Sifat	Nilai
Real Massa jenis	2.6 g/cm <sup>3</sup>
Bulk Massa jenis	1.7 g/cm <sup>3</sup>
Porsitas	26 %
Konduktivitas Panas	1.2 (W/mK)
Cold Crushing	Lb/l <sup>n2</sup>
	N/mm <sup>2</sup>
	3000
	20,7

### 2.2.5 Tanah Liat

Tanah liat adalah aluminosilicates ( $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) yang berbentuk bulir halus yang akan bersifat plastis atau mudah untuk dibentuk bila dilakukan pencampuran dengan air. Tanah liat terdiri dari  $\text{SiO}_2$  dengan persentase kandungan lebih dari 50%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  lebih dari 15%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan rentang kandungan 5% - 11% serta kandungan  $\text{CaO}$  sebesar 1% - 11% (Rahmat, 2013). Tanah Liat sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan keramik, kemudahan dalam mendapatkan serta pemakaiannya yang mudah dan ramah lingkungan juga merupakan kelebihan dari penggunaan tanah liat. Sekitar 70 atau 80% dari kulit bumi terdiri dari batuan yang merupakan sumber dari tanah liat (Rahmat Doni, 2016). Menurut penelitian yang dilakukan Hasan, dkk (2019) komposisi mineral tanah liat di sekitar tambang tanjung enim, PT Bukit Asam Tbk, Sumatera selatan dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Kandungan mineral tanah liat lokasi PT Bukit Asam Tbk Sumatera Selatan  
(Hasan, dkk. 2019)

Komponen Mineral	Persentase Kandungan
$\text{SiO}_2$	53,74 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	25,05 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,90 %
$\text{TiO}_2$	0,90 %
$\text{MgO}$	1,52 %
$\text{K}_2\text{O}$	1,84 %
$\text{CaO}$	0,48 %
$\text{Na}_2\text{O}$	0,12 %
$\text{SO}_3$	1,24 %
$\text{MnO}$	0,12 %
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,05 %
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,01 %
Others	10,03 %

### 2.2.6 Kaolin

Kaolin merupakan suatu material yang dapat ditemukan pada deposit tanah liat sekunder yang mengandung mineral kaolinit serta kandungan mineral lainnya. Kaolin berbahan dasar aluminosilicate ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) berukuran partikel 1-2  $\mu\text{m}$  terdiri dari kandungan alumina sebesar 39,5%, silika sebesar 46,6%, serta air sebesar 13,9% (Shackelford, 2008). Kaolin memiliki ukuran butir yang kasar, bersifat tidak plastis (susah untuk dibentuk), berwarna putih karena memiliki kandungan besi yang rendah, memiliki daya hantar panas ataupun listrik yang rendah dengan titik lebur sebesar 1850 °C. Cadangan kaolin di Indonesia yang paling besar terletak di Kalimantan barat, Kalimantan selatan, serta Bangka dan Belitung. Kaolin berfungsi sebagai bahan pengikat yang dapat memudahkan pembentukan badan keramik pada kondisi mentah. Sebagai bahan baku *industri* kaolin sering dimanfaatkan sebagai :

1. Dalam *industri* keramik dan poselin digunakan sebagai bahan body
2. Dimanfaatkan sebagai bahan vulkanisir dalam *industri* karet
3. Bahan pengisi dan pelapis dalam produksi kertas
4. Bahan pembuatan bata tahan api dalam *industri* refraktori
5. Dimanfaatkan lem perekat serta bahan komestik dan tekstil (Silitonga M., 2008)

Tabel 2.5 Komposisi Kaolin  
(Rahayu, E.S, dkk. 2015)

Komponen Mineral	Persentase Kandungan
SiO <sub>2</sub>	49,86 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,51 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,69 %
TiO <sub>2</sub>	0,29 %
MgO	1,07 %
K <sub>2</sub> O	0,59 %
CaO	1,49 %
Na <sub>2</sub> O	0,45 %
Others	15,05 %

### 2.2.7 Alumina

Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) adalah senyawa unsur non-logam yang terdiri dari unsur aluminium dan oksigen. Senyawa alumina bersifat polimorfik dan struktur kristal  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (korundum) membentuk padatan heksagonal. Alumina memiliki ketahanan slip yang relatif tinggi karena memiliki koordinasi atom yang lebih kompleks dari setiap komponennya (Vlack 1994:303)

Alumina memiliki sifat mekanik yang luar biasa seperti kekerasan dan kekuatan tinggi, ketahanan aus, kekerasan tinggi, konduktivitas termal yang baik, ketahanan reaksi kimia pada suhu tinggi (Fahmi, 2015). Titik leleh alumina adalah  $2050^\circ\text{C}$  dengan titik leleh Alumina tinggi tahan terhadap kejutan termal dan stabil di suhu tinggi (Surdia, 1992). Fase  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , juga dikenal sebagai korundum, adalah senyawa yang terbentuk antara aluminium dan oksigen dengan kondisi paling stabil dan merupakan produk akhir dari perlakuan panas alumina. Stabilitas dan ketahanan suhu tinggi,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  digunakan sebagai bahan katalis suhu tinggi (Shirai, dkk, 2009).

Tabel 2.6 Jenis dan Komposisi Alumina  
(Aghatama T., 2018)

Agregate	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	Max Service limit ( $^\circ\text{C}$ )
Alumina – tabular / white fused	99 + %/0%	1870
Alumina – brown fused	94 – 98% / 1- 2%	1760
Bauxite – S.A and Chinese	84 – 90% / 5 – 7%	1760
Mullite – Sintered or fused	74 – 76% / 19 – 24%	1760
Bauxitic kaolin – calcined	58 – 70% / 26 – 37%	1760
Andalusite	57 – 61% / 38 – 40%	1760
Calcined kaolin and flint clay	40 – 47% / 49 – 55%	1650
Pyrophyllite	13 – 30% / 65 – 80%	1425
Fused Silica	0% / 99.7 + %	1370

### 2.2.8 Sintering

Sintering adalah suatu proses perlakuan panas terhadap green compact atau spesimen yang akan dilakukan pengujian untuk meningkatkan ikatan partikel

sehingga porositas berkurang dan kekuatannya meningkat (Nurzal dan Antonio, 2013). Perlakuan panas dapat menyebabkan partikel bersatu sehingga kepadatan meningkat. Pada proses sintering terbentuk batas-batas butir yang menandai tahap awal rekristalisasi dan gas yang ada akan menguap. Pada proses sintering suhu yang digunakan berada dibawah titik lebur unsur utama dengan menggunakan furnace. Perubahan dimensi berupa pengembangan atau penyusutan terjadi pada saat proses sintering. Perubahan tersebut tergantung bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, prosedur sintering dan tekanan kompaksi. Ukuran yang tepat diperoleh berdasarkan perhitungan perubahan ukuran pada saat bahan belum disintering dan setelah dilakukan proses sintering (Budihartono, 2012).

## **2.2 Kajian Pustaka**

Penelitian yang dilakukan Rahmat D (2016) yang berfokus pada pengolahan limbah Fly ash. Penelitian ini berjudul "Pengaruh Komposisi Kaolin terhadap Massa jenis dan Kekuatan Bending pada Komposit Fly ash – Kaolin". Dalam penelitian ini, bahan baku yang digunakan adalah Fly ash dan Kaolin, dengan variasi penambahan Kaolin sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat total. Proses pencetakan dilakukan dengan menerapkan beban kompaksi sebesar 3000 kgf, yang setara dengan tekanan kompaksi 166,42 MPa untuk spesimen berbentuk silinder (diameter = 15 mm dan ketebalan = 8 mm), serta 58,84 MPa untuk spesimen berbentuk balok (lebar = 10 mm, tebal = 8 mm, dan panjang = 50 mm). Kemudian, dilanjutkan dengan proses sintering pada tiga suhu berbeda, yaitu 1100°C, 1150°C, dan 1200°C, dan dipilih suhu sinter terbaik dari ketiganya. Berbagai pengujian dilakukan, termasuk pengujian komposisi Fly ash dan Kaolin, pengukuran massa jenis menggunakan metode Archimedes, serta pengujian kekuatan bending dengan metode four point bending test. Hasil dari penelitian ini mengindikasikan bahwa massa jenis komposit keramik Fly ash/Kaolin mengalami peningkatan pada suhu sinter 1100-1150°C, namun mengalami penurunan pada suhu sinter 1150-1200°C. Suhu sinter optimal untuk mencapai sifat yang diinginkan pada komposit keramik Fly ash/Kaolin adalah 1150°C. Kekuatan komposit keramik

Fly ash/Kaolin tertinggi tercapai pada komposisi dengan 95% Fly ash dan 15% Kaolin, dengan nilai kekuatan sebesar 16,20 Mpa.

Amelia Pangestu (2020) telah melakukan sebuah studi mengenai Produksi Batu Bata Ringan Tahan Api yang Terbuat dari Campuran Fireclay dan Fly ash dari PLTU Kaltim Teluk dengan Penggunaan Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) sebagai Bahan Pembentuk Busa. Penelitian ini mempertimbangkan variasi tertentu. Karakteristik yang diuji dalam penelitian ini meliputi massa jenis, daya serap air, porositas, penyusutan, dan kekuatan tekan. Dalam percobaan ini, komposisi Fly ash divariasikan dalam lima proporsi yaitu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Selain itu, cairan hidrogen peroksida ditambahkan sebanyak 5ml, 7ml, dan 9ml, yang berpengaruh terhadap pembentukan pori pada struktur batu bata tahan api tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan tertinggi mencapai 0,549 Mpa, kemampuan daya serap air sebesar 37,46%, penyusutan sebesar 2%, massa jenis sekitar 1,44 g/cm<sup>3</sup>, dan porositas mencapai 41,04%.

Dalam sebuah riset oleh Elly Indahwati (2020), berjudul "Dampak Inkorporasi Kaolinit Lokal dari Kabupaten Jombang pada Bata Tahan Api terhadap Ciri Mekanisnya." Penelitian ini mencakup variasi komposisi kaolinit, fireclay, dan tanah liat dengan menjaga persentase tanah liat tetap pada 30%. Variasi komposisi kaolinit diterapkan secara bertahap dari 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, hingga 70%, tetapi tetap mempertahankan tanah liat pada 30%. Sampel bata tahan api dikeringkan di bawah sinar matahari selama 12 jam, kemudian disinter pada berbagai suhu, yaitu 900°C, 1000°C, dan 1100°C. Hasil analisis menunjukkan bahwa Kuat Tekan pada sampel tanpa kandungan kaolinit (0%) mencapai 77,73 Mpa pada suhu 1100°C, dan porositasnya mencapai 0,261%. Hasil terbaik didapatkan saat menambahkan kaolinit dalam rentang 0-10% pada suhu 900°C.

Penelitian yang berjudul "Pengaruh Perbandingan Komposisi Tanah Liat, Kaolin, dan Kwarsa serta Variasi Suhu Pembakaran terhadap Karakteristik Keramik Tradisional" dilakukan oleh Rachmat S. (2013). Dalam penelitian ini, dilakukan penyusunan lima macam campuran komposisi yang akan dibandingkan berdasarkan parameter porositas, penyusutan saat pembakaran, tingkat kekerasan, ketahanan bending, dan tingkat keausan, dibandingkan dengan tanah liat murni.

Kaolin dan kwarsa ditambahkan dengan perbandingan variasi, yaitu 30% kaolin - 0% kwarsa, 20% kaolin - 10% kwarsa, 15% kaolin - 15% kwarsa, 10% kaolin - 20% kwarsa, dan 0% kaolin - 30% kwarsa, dengan proporsi tanah liat tetap pada 70%. Kemudian, sampel-sampel tersebut disinter pada tiga suhu berbeda, yaitu 800°C, 1000°C, dan 1200°C. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi dicapai oleh campuran tanah liat 100% pada suhu 1200°C, yakni mencapai 224,21 kg.mm<sup>-2</sup>. Hal ini terjadi karena pada tahap ini, tanah liat mengalami tahap vitrifikasi yang menyebabkan penyusutan akibat pembakaran yang tinggi, serta hilangnya porositas secara signifikan. Kekuatan bending maksimal terjadi pada campuran 20% kaolin - 10% kwarsa pada suhu 1200°C, dengan nilai 19,13 MPa. Sedangkan tingkat keausan terendah dicapai oleh campuran 15% kaolin - 15% kwarsa pada suhu 1200°C, yakni sekitar  $2,48 \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/kg.m

Penelitian dari Hamzah S. M., dkk (2015) dengan judul Kekuatan Bending dan Impak Komposit Clay/*Fly ash* Untuk Aplikasi Fire Brick dengan bahan yang digunakan adalah campuran Clay dan *Fly ash*. Clay dikalsinasi pada temperatur 600°C ditahan selama 30 menit. Dilakukan campuran dengan variasi *Fly ash* sebanyak 25%; 50%; dan 75%. Campuran serbuk clay dan *Fly ash* dikompaksi secara uniaksial dengan tekanan 50 MPa, kemudian di sinter pada lingkungan atmosfer dengan temperatur 1100°C, 1150°C, 1200°C dan 1250°C, ditahan selama 120 menit, dengan laju kenaikan temperatur sinter 10°C per menit. Pengujian yang dilakukan meliputi bending dan impak. Hasil pengujian menunjukkan dengan meningkatnya fraksi berat *Fly ash* dan temperatur sinter meningkatkan kekuatan bending dan impak, dengan nilai tertinggi terdapat pada fraksi berat 75% *Fly ash* kekuatan bending sebesar 53,04 Mpa dan kekuatan impak paling tinggi 1,27 J pada temperatur sinter 1150°C.

Sukkae (2018) penelitian mengenai penggunaan Fly ash batubara sebagai bahan baku dalam produksi material refraktori. Dalam penelitiannya, ia melakukan variasi komposisi antara Fly ash batubara dan fireclay. Beberapa persentase yang diaplikasikan untuk Fly ash adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Proses sintering dilakukan pada berbagai suhu, yaitu 1250 °C, 1300 °C, 1350 °C, dan 1400 °C. Diantara pengujian yang dilakukan, salah satu diantaranya adalah mengukur

konduktivitas panas. Dari pengujian tersebut, ditemukan bahwa variasi dengan kandungan 40% Fly ash dan 50% Fly ash pada suhu sinter 1300 °C menghasilkan konduktivitas termal yang lebih unggul, yakni sebesar 0,8 W/m°K.