

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini merupakan Kajian Pustaka dan Dasar Teori meliputi batu bara, limbah batu bara berupa *fly ash* dan *bottom ash*, material refraktori, *fireclay brick*, natrium silikat, *foaming agent*.

#### 2.1 Batu Bara

Batu bara merupakan sisa tumbuhan dari jaman pra-sejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut. Penimbunan lanau dan sedimen lainnya, bersama dengan pergeseran kerak bumi (dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur rawa dan gambut yang seringkali sampai kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan tersebut terkena suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang tinggi tersebut menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi gambut dan kemudian batu bara (*World Coal Institute, 2005*).

Terdapat perbedaan komposisi dari batubara yang ditambang di seluruh dunia. Berbagai jenis batu bara biasanya diklasifikasikan berdasarkan peringkat yang tergantung pada tingkat transformasi dari sumber aslinya (mis., tanaman yang membusuk) dan berdasarkan ukuran usia batubara. Ketika proses transformasi berlangsung, nilai pemanasan dan komposisi batubara meningkat dan jumlah *volatile matter* di dalam batu bara menurun. Metode peringkat batu bara yang digunakan di USA and Canada dikembangkan oleh *American Society for Testing and Materials (ASTM)* dan didasarkan pada sejumlah parameter diperoleh dengan berbagai tes yang ditentukan sebagai berikut:

1. *Heating Value*: Energi yang dilepaskan sebagai panas ketika batu bara (atau zat lain) mengalami pembakaran sempurna dengan oksigen.
2. *Volatile Matter*: Bagian dari sampel batu bara yang, ketika dipanaskan tanpa adanya udara pada kondisi yang ditentukan, dilepaskan sebagai gas. Itu

termasuk karbon dioksida, gas organik dan anorganik yang mudah menguap yang mengandung belerang dan nitrogen.

3. *Moisture*: Air yang terkandung secara inheren di dalam batu bara dan ada di batu bara dalam keadaan deposisi alami. Ini diukur sebagai jumlah air yang dilepaskan ketika sampel batu bara dipanaskan pada kondisi yang ditentukan. Dan tidak termasuk air di permukaan batu bara.
4. *Ash*: Residu anorganik yang tersisa setelah sampel batu bara yang telah terbakar dan sebagian besar terdiri dari senyawa silika, aluminium, besi, kalsium, magnesium dan lainnya. Abu dapat sangat bervariasi dari bahan mineral yang awalnya ada di batu bara (seperti tanah liat, kuarsa, pirit dan gypsum) sebelum dibakar.
5. *Fixed Carbon*: Bahan organik yang tersisa setelah bahan *volatil* dan uap air telah dilepaskan. Biasanya dihitung oleh mengurangi dari 100 persentase zat mudah menguap, kelembaban dan abu. Ini terutama terdiri dari karbon dengan jumlah yang lebih sedikit hidrogen, nitrogen, dan belerang.

Batu bara diklasifikasikan pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Batu Bara

<i>Class</i>	<i>Fixed Carbon Limit (%)</i>	<i>Volatile Matter (%)</i>	<i>Calorie Value (J/Kg)</i>
<i>Anthracite Coal</i>			
<i>Meta-Anthracite</i>	98	2	
<i>Anthracite</i>	92-98	2-8	
<i>Semianthracite</i>	86-92	8-14	
<i>Bituminous Coal</i>			
<i>Low Volatile</i>	78-86	14-22	
<i>Medium Volatile</i>	69-78	22-31	
<i>High Volatile A</i>	69	>31	14000
<i>High Volatile B</i>			13000-14000
<i>High Volatile C</i>			11500-13000, 10500-11500

Class	Fixed Carbon	Volatile Matter	Calorie Value
	Limit		
	(%)	(%)	(J/Kg)
<i>Subbituminous A</i>			10500-11500
<i>Subbituminous B</i>			9500-10500
<i>Subbituminous C</i>			8300-9500

Sumber : Kirk-Othmer Vol 6, 2001

Tabel 2.2 Komposisi dari Batu Bara

Type of Coal	Composition(%wt)			
	C	H	O	N
<i>Peat</i>	45-60	3.5-6.8	20-45	0.75-3.0
<i>Brown coals and lignites</i>	60-75	4.5-5.5	17-35	0.75-2.1
<i>Bituminous</i>	75-92	4.0-5.6	3.0-20	0.75-2.0
<i>Anthracite</i>	92-93	2.9-4.0	2.0-3.0	1.5-3.5

Sumber : Kirk-Othmer Vol 6, 2001

## 2.2 Limbah Batu Bara

Menurut *World Coal Institute* batu bara merupakan salah satu sumber energi yang digunakan pembangkit listrik untuk menghasilkan listrik hampir 40% di seluruh dunia. Di banyak negara angka-angka ini jauh lebih tinggi: Polandia menggunakan batu bara lebih dari 94% untuk pembangkit listrik; Afrika Selatan 92%; Cina 77%; dan Australia 76%.

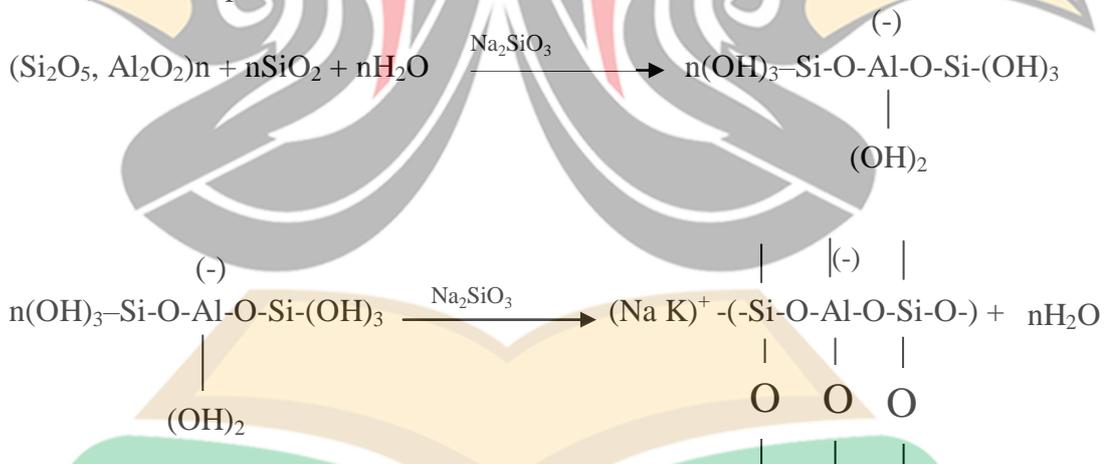
Pembangkit listrik berguna untuk mengkonversi energi dari batu bara menjadi energi listrik. Pada prosesnya memerlukan adanya proses pembakaran batu bara, yang mana akan menghasilkan limbah berupa *fly ash* dan *bottom ash*.

## 2.3 Geopolimer

Pada tahun 1980-an, Professor Joseph Davidovits menemukan sebuah perekat alternatif pengganti semen yang dikenal dengan geopolimer (Syarif, 2016). Geopolimer merupakan suatu material berupa polimer anorganik aluminosilikat dengan rantai Si-O-Al yang disintesis dari material pozzolan yang kaya akan silika dan alumina. Geopolimer yang dikembangkan Davidovits

memiliki rumus umum  $nM_2O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$  dengan M adalah logam alkali (Kusumawati, 2015). Pada awal perkembangannya, geopolimer disintesis dari material-material seperti kaolinit, lempung, metakaolinit dan mineral-mineral aluminosilikat murni sebagai prekursor (Xu dan Van Deventer, 2000), kemudian dikembangkan geopolimer dengan bahan dasar limbah industri seperti *fly ash* yang bersifat pozzolanik (Van Deventer, 2007). *Fly ash* sebagai limbah pembakaran batu bara merupakan padatan pozzolan aluminosilikat amorf yang kaya akan silika dan alumina sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam teknologi geopolimerisasi (Kusumastuti, 2012). Geopolimer dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang antara lain sebagai bahan bangunan, komposit dan insulator, refraktori (Phair dkk., 2003).

Dalam proses geopolimer, terjadi reaksi kimia antara alumina-silikat oksida ( $Si_2O_5$ ,  $Al_2O_3$ ) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat yang diperoleh dari industri kimia atau bubuk silika halus sebagai produk sampingan dari proses ferro-silicon metallurgy. Proses polikondensasi oleh alkali menjadi poli (sialate-siloxo) adalah seperti berikut:



Reaksi Kimia Proses Polikondensasi oleh Alkali Menjadi Poli (Sialate-Siloxo) Menurut Garcia-Loreido dkk (2007) persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa pada reaksi kimia pembentukan senyawa geopolimer juga menghasilkan air yang dikeluarkan selama proses curing". "Palomo dkk (1999) mempelajari pengaruh suhu, waktu, dan rasio larutan alkali pada abu terbang pada kekuatan awal geopolimer. Dilaporkan bahwa faktor suhu dan waktu perawatan

mempengaruhi kuat tekan material geopolimer. Penggunaan larutan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) sebagai larutan alkali menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi”.

## 2.4 Material Refraktori

Refraktori merupakan jenis material konstruksi (material keramik) yang dapat 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* (Septriana, 2017).

### 2.4.1 Properti dari Refraktor

Bahan-bahan refraktori dibuat dengan kombinasi dan bentuk yang bervariasi tergantung pada penggunaannya (Irwansyah, 2010). Karakteristik penting dari material refraktori adalah komposisi kimia, *bulk density*, *apparent porosity*, *apparent specific gravity*, dan kekuatan spesifik pada suhu atmosfer. Sifat-sifat tersebut sering di antara yang digunakan sebagai titik kontrol dalam pembuatan dan kontrol kualitas proses. Komposisi kimia berfungsi sebagai dasar untuk klasifikasi refraktori. Kepadatan, porositas dan kekuatan dipengaruhi oleh banyak faktor lain yaitu tipe dan kualitas bahan baku, ukuran dan kecocokan partikel, kadar air pada saat proses penekanan, tekanan pada cetakan, suhu, dan laju pendinginan (Bhatia, 2012). Beberapa karakteristik material refraktori dijabarkan sebagai berikut :

#### 1. Titik Lebur

Temperatur dari titik lebur menentukan kemampuan material untuk menahan suhu tinggi tanpa adanya perubahan kimia dan kerusakan fisik. Titik lebur dari beberapa elemen yang membentuk komposisi refraktori dalam keadaan murni bervariasi antara  $3100^\circ\text{F}$  –  $6300^\circ\text{F}$  seperti ditunjukkan dalam tabel 2.5 di bawah ini:

Tabel 2.3 Titik Lebur pada *Pure Compound*

<i>Refractory Element</i>	<i>Melting Temperature (<math>^\circ\text{F}</math>)</i>
Graphite C pure	6300
Thoria, $\text{ThO}_2$ Pure Sintered	5430

<i>Refractory Element</i>	<i>Melting Temperature (°F)</i>
Magnesia, MgO, Pure Sintered	5070
Zirconia, ZrO <sub>2</sub> , Pure Sintered	4890
Lime, CaO	4660
Beryllia, BeO, Pure Sintered	4620
Silicon Carbide, SiC, Pure	4080
Magnesia, 90-95%	3980
Chromite, FeO-Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3960
Chromium Oxide	3880
Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Pure Sintered	3720
Chromite, 38%, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3580
Alumina Fused Bauxite	3400
Silicon Carbide, 80-90%	3400
<i>Fireclay</i>	3400
Titania, TiO <sub>2</sub>	3360
Kaolin, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -, SiO <sub>2</sub>	3300
Silica, SiO <sub>2</sub>	3120

Sumber: Bhatia, 2012

## 2. Ukuran dan Stabilitas Dimensi

Ukuran serta bentuk refraktori merupakan fitur penting dalam desain dikarenakan dapat mempengaruhi stabilitas struktur apa pun. Akurasi dimensi dan ukuran sangat penting untuk memungkinkan pemasangan yang tepat dari bentuk refraktori dan untuk meminimalkan ketebalan dan sambungan konstruksi.

## 3. Porositas

Porositas adalah ukuran ruang pori terbuka dalam material refraktori, dimana *molten metal*, *slag*, fluks, uap dll dapat menembus dan dengan demikian berkontribusi terhadap degradasi struktur. Nilai porositas refraktori dinyatakan sebagai rata-rata persentase ruang pori terbuka dalam volume refraktori secara keseluruhan.

Bahan dengan nilai porositas tinggi cenderung sangat isolasi akibat dari volume udara yang tinggi dan terperangkap di dalamnya, karena udara adalah konduktor termal yang sangat buruk. Akibatnya, material dengan nilai porositas

rendah umumnya digunakan di zona panas, sedangkan bahan yang lebih berpori biasanya digunakan untuk cadangan termal. Berdasarkan Aramide tahun 2012 nilai porositas digambarkan pada persamaan 2.1. Dengan P merupakan nilai porositas, W merupakan nilai berat saturasi, D merupakan nilai berat kering spesimen, dan S merupakan berat spesimen yang terendam dalam air.

$$P, \% = [(W - D) / (W - S)] \times 100\% \quad 2.1$$

#### 4. Bulk Density

*Bulk density* dipertimbangkan dalam hubungannya dengan porositas. *Bulk density* adalah ukuran dari berat volume refraktori tertentu. Untuk banyak refraktori, *bulk density* memberikan indikasi umum kualitas produk. Material refraktori dengan *bulk density* yang lebih tinggi (porositas rendah) akan lebih baik kualitasnya. Peningkatan *bulk density* meningkatkan stabilitas volume, kapasitas panas, dan juga resistensi terhadap abrasi. Berdasarkan ASTM C20-00(2015) nilai *Bulk density* digambarkan pada persamaan 2.2. Dengan B merupakan nilai *Bulk Density*, D merupakan nilai berat kering spesimen, dan V merupakan nilai volume spesimen.

$$B, \text{gr/cm}^3 = D / V \quad 2.2$$

#### 5. Volume stability, expansion, and shrinkage at high temperature.

Kontraksi atau perluasan refraktori dapat terjadi selama proses. Perubahan permanen dalam dimensi mungkin disebabkan oleh:

- a. Perubahan pada *allotropic form* yang menyebabkan perubahan *specific gravity*.
- b. Reaksi kimia yang menghasilkan material baru
- c. Terbentuknya fase *liquid*.
- d. Reaksi sintering

Nilai *shrinkage* dapat diketahui secara linier berdasarkan ASTM C20-00(2010) digambarkan pada persamaan 2.3. Dengan L merupakan nilai *linier shrinkage*,  $L_m$  merupakan nilai panjang sampel sebelum proses sintering, dan  $L_s$  merupakan nilai panjang setelah proses sintering.

$$L, m = [(L_m - L_s) / L_m] \quad 2.3$$

#### 6. Water Absorption

www.itk.ac.id

*Water Absorption* merupakan nilai dari berat air yang dapat diserap oleh spesimen. berdasarkan ASTM C20-00(2010) digambarkan pada persamaan 2.4. Dengan A merupakan nilai *water absorption*, W merupakan nilai berat saturasi, dan D merupakan nilai berat kering spesimen.

$$A, \% = [(W - D) / D] \times 100\% \quad 2.4$$

### 7. *Thermal Conductivity*

Konduktivitas termal didefinisikan sebagai jumlah panas yang akan mengalir melalui unit area dalam arah normal ke area permukaan dalam waktu yang ditentukan dengan suhu yang diketahui. Ini menunjukkan karakteristik aliran panas dari material refraktori dan tergantung pada komposisi kimia dan mineral penyusun sebagai aplikasi suhu.

Konduktivitas termal refraktori yang tinggi diperlukan untuk beberapa aplikasi seperti dinding oven kokas, regenerator, *muffle* dan dinding tungku berpendingin air. Namun, refraktori dengan konduktivitas termal lebih rendah lebih disukai dalam aplikasi industri, karena mereka membantu dalam menghemat energi panas. Porositas adalah faktor signifikan dalam aliran panas melalui refraktori. Termal konduktivitas refraktori berkurang pada peningkatan porositasnya.

#### 2.4.2 **Klasifikasi Material Refraktori**

Refraktori dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimia, metode pembuatan, dan bentuk fisik (Bhatia, 2012). Dipaparkan sebagai berikut:

##### 1. Klasifikasi berdasarkan komposisi kimia

###### a. *Acid Refractory*

*Acid* refraktori merupakan material refraktori yang digunakan pada slag dan atmosfer bersifat asam. Adapun beberapa contoh material dari *acid* refraktori yaitu, silica ( $\text{SiO}_2$ ) dan zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ).

###### b. *Neutral Refractory*

*Neutral refractory* merupakan material stabil untuk asam dan basa dan digunakan di daerah di mana slag dan atmosfer bersifat asam atau basa. Contoh umum dari material tersebut yaitu, carbon graphite, chromites ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Alumina.

c. *Basic Refractory*

*Basic refractory* material yang stabil untuk slag alkali, debu dan asap pada suhu tinggi. Karena material tersebut tidak bereaksi dengan slag alkali, refraktori ini sangat penting untuk lapisan tungku di mana lingkungan bersifat basa, misalnya operasi metalurgi non-ferrous. Adapun beberapa contoh material *basic refractory* yaitu, magnesia (MgO), dolomite (CaO.MgO), chromite.

d. *Insulating Bricks*

*Insulating bricks* ditandai dengan adanya sejumlah besar porositas di dalamnya. Pori-pori tersebut merupakan sebagian besar pori-pori yang tertutup. Dengan adanya porositas akan menurunkan *thermal conductivity*. *Insulating bricks* juga akan menimbulkan nilai densitas pada batu bata tahan api rendah. Tipe *insulating bricks* juga biasanya digunakan pada suhu rendah.

2. Klasifikasi berdasarkan cara pembuatan

Refraktori dapat diklasifikasikan berdasarkan cara pembuatannya sebagai berikut,

- a. *Dry press process*
- b. *Fused cast*
- c. *Hand molded*
- d. *Formed*
- e. *Unformed*

3. Klasifikasi berdasarkan bentuk

Refraktori diklasifikasikan berdasarkan bentuk fisiknya sebagai berikut:

a. *Shaped Refractory*

*Shaped refractory* memiliki bentuk tetap. Hal ini biasa disebut batu bata. Bentuk bata mungkin dibagi menjadi dua: bentuk standar dan bentuk khusus.

b. *Unshaped Refractory*

*Unshaped refractory* merupakan material yang akan diberi bentuk ketika pengaplikasian material.

Pada tabel 2.6 dijabarkan macam–macam bentuk dari *shaped* dan *unshaped* refraktori.

Tabel 2.4 Klasifikasi material refraktori berdasarkan bentuk

<i>Shaped</i>		<i>Unshaped</i>	
1. Alumino Silicate	High Alumina	1. Mortar	
	Low Alumina	2. Castable	LCC
2. Silica			ULCC
3. Basic	Magnesite		NCC
	Mag-Chrome		SFC
	Mag-Carbon	3. Guning Mass	
	Forsite	4. Ramming Mass	
	Dolomite	5. Filling Mass	
4. Carbon		6. Felting Mass	
5. Zirconia	Zircon (Acidic)	7. Spraying Compound	
	Zirconia (Neutral)	8. Patching/Coating Mass	
6. Carbides/Nitrides	Silicon Carbide		
	Silicon Nitride		
	Boron Carbide		
	Boron Nitride		
7. Pure Okside	Ferrites		
	Hofnium Oxides		

Sumber: Bhatia, 2012

### 2.5 Fire Bricks

*Fireclay brick* adalah yang paling umum dari semua refraktori. *Fireclay brick* mengandung kurang dari 40% alumina (Sisirie, 2003). Terdiri atas  $\text{SiO}_2 < 78\%$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3 < 44\%$ . *Fireclay bricks* merupakan material refraktori yang paling tidak mahal dari semua jenis batu bata tahan api dan banyak digunakan dalam industri besi dan baja, non-ferrous metallurgy, industri kaca, industri semen dan banyak lainnya (Bhatia, 2012). Selama pembentukan asam berdasarkan refraktori, terjadi reaksi termo-kimia terjadi antara  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada suhu di atas  $1000^\circ\text{C}$ . Silika berubah menjadi tridimit dan kristobalit, alumina berubah

menjadi korundum, sementara keduanya silika dan alumina bertransformasi sebagai larutan padat mullite ( $3\text{Al}_2\text{HAl}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) (Ardha, 2007).

Semua jenis *fireclay brick* tidak sama dan total rentang sifatnya cukup luas. ASTM membagi *fireclay brick* menjadi empat klasifikasi utama tergantung terutama pada fusi suhu (*Pyrometric Cone Equivalent*, PCE) merupakan fungsi dari rasio alumina-silika. Empat kelas standar *fireclay brick* adalah: *super duty*, *high duty*, *medium duty*, *low duty*, dan juga semi-silika. Kelas-kelas ini mencakup rentang dari sekitar 18% hingga 44% alumina, dan dari sekitar 50% hingga 80% silika. Dari sudut pandang suhu fusi, *fireclay super duty* memiliki PCE sekitar Cone 33, yang sesuai dengan  $3175^\circ\text{F}$ . Ini tidak berarti bahwa batu bata dengan PCE Cone 33 dapat digunakan dalam tungku yang beroperasi pada  $3175^\circ\text{F}$ . Sebaliknya, itu berarti bahwa pada suhu ini dalam keadaan bersih, bebas *slag*, netral hingga sedikit mengoksidasi atmosfer, batu bata ini tidak akan mampu menopangnya sendiri bobot (Bhatia, 2012). Pada tabel 2.7 menunjukkan komposisi material pada setiap jenis *fireclay brick*.

Tabel 2.5 Komposisi material pada tiap jenis *fireclay brick*

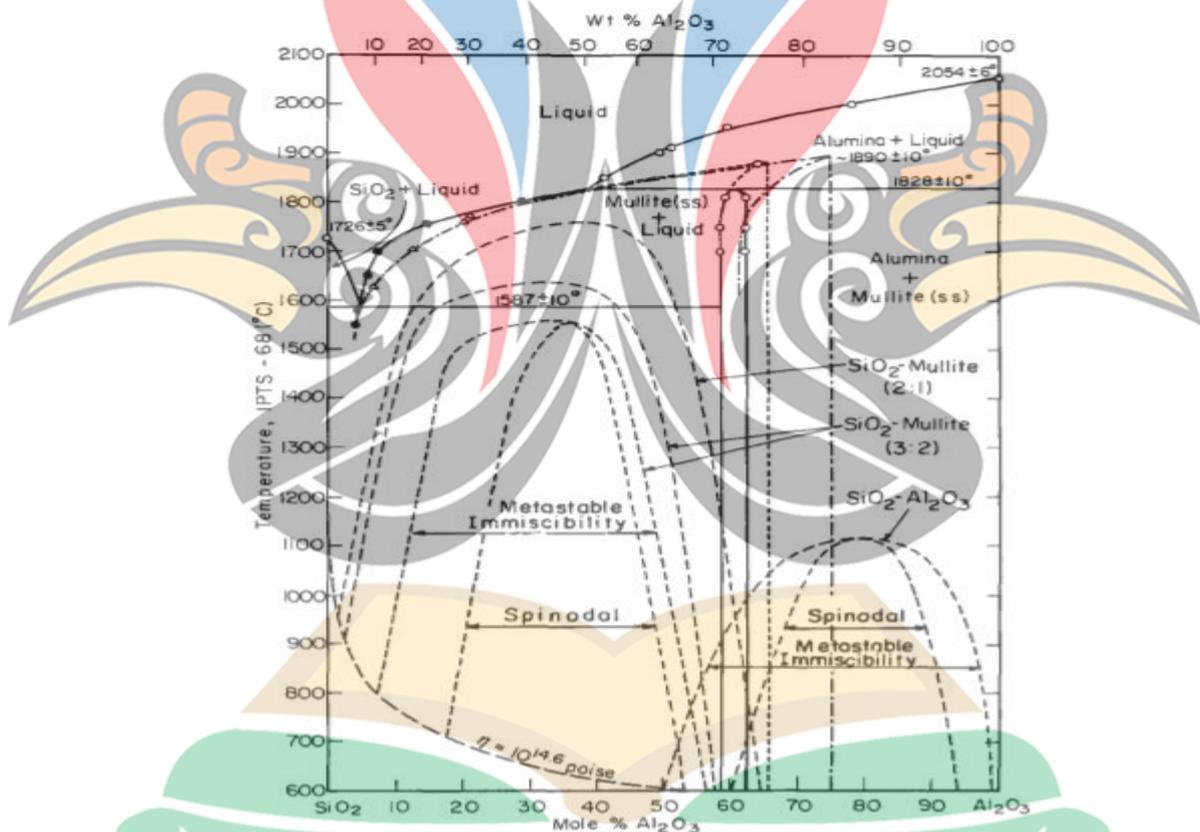
<i>Brick</i>	%age $\text{SiO}_2$	%age $\text{Al}_2\text{O}_3$	<i>Other Constituent</i> (%)	PCE ( $^\circ\text{F}$ )
<i>Super Duty</i>	49-53	40-44	5-7	3175-3200
<i>High Duty</i>	50-80	35-40	5-9	3075-3175
<i>Medium Duty</i>	60-70	26-36	5-9	2975-3075
<i>Low Duty</i>	60-70	23-33	6-10	2770-2900

Sumber: Bhatia, 2012

## 2.6 Mullite

*Mullite* merupakan bahan keramik berbasis silika dalam sistem  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  yang terbentuk dari 2 (dua) komponen utama yakni senyawa alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Duval, 2008). Keramik *mullite* memiliki karakteristik diantaranya tahan terhadap zat kimia yang tinggi, konduktivitas termal rendah, dan kestabilan termal tinggi sehingga dapat digunakan sebagai isolator panas suhu tinggi dan isolator listrik tegangan tinggi karena mempunyai resistansi tinggi. Sebagian besar produk keramik tradisional memiliki *mullite* sebagai bagian dari komposisi tahap akhir mereka (Anggono, 2005).

Pembentukan *mullite* tergantung dari perubahan temperature dan komposisi alumina/silika. Berdasarkan perubahan temperatur, dari diagram kesetimbangan (Gambar 2.2) dapat dilihat bahwa proses pembentukan *mullite* secara perlahan-lahan terjadi pada suhu 1470°C yang diikuti silika dan menjadi lebih cepat ketika temperatur naik hingga 1570°C. Dengan bertambahnya waktu pada proses pembentukkan *mullite*, daerah antara alumina dan silika menjadi lebih tebal yang menyebabkan difusi lebih lama pada aluminium dan silikon saat pembentukkan *mullite* (1580-1600°C). Akhirnya, pada suhu yang lebih tinggi (>1600°C), proses peleburan dari fase padatan menjadi fase cairan dengan cepat. Diatas suhu 1650°C sampel kembali menyusut dengan cepat disebabkan oleh fase cairan dan silika (Duval, 2008).



Gambar 2.1 Diagram Fasa *Mullite*  
(Sumber : Duval, 2008)

## 2.7 Bahan Penyusun *Fireclay Bricks*

Komposisi penyusun *fireclay brick* berupa *fly ash*, air, natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), semen tahan api, serta hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

### 2.7.1 *Fly ash*

*Fly ash* atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang berbentuk partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran dari proses pembakaran batu bara pada unit pembangkit uap/*boiler* (Marthius, 2015).

*Fly ash* memiliki butiran halus, yang dapat lolos melalui ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan *specific gravity* 2,15 hingga 2,8, dan berwarna abu-abu kehitaman (ACI Committee 226). *Fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 parts 1 226.3R-3), yaitu :

#### 1. Kelas C

*Fly ash* yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batu bara (batu bara muda). senyawa lain yang terkandung didalamnya:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  dan sedikit  $\text{K}_2\text{O}$ . mempunyai *specific gravity* 2,31-2,86. Mempunyai sifat *pozzolan*, tetapi juga langsung bereaksi dengan air untuk membentuk CSH ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Kalsium Hidroksida dan *Ettringite* yang mengeras seperti semen.

#### 2. Kelas F

*Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau *bitumen* batu bara. senyawa lain yang terkandung didalamnya:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dan sedikit  $\text{Na}_2\text{O}$ . Mempunyai *specific gravity* 2,15-2,45. Bersifat seperti *pozzolan*, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil.

#### 3. Kelas N

*Pozzolan* alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan shales, tuff dan abu vulkanik yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. selain itu, juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

Tabel 2.6 Tipikal Komposisi dari *Fly ash*

Compound	Class F Fly ash		Class C Fly ash		Portland Cement	
	Typical	ASTM C-618	Typical	ASTM C-618	Typical	ASTM C-150
SiO <sub>2</sub>	48	-	37.3	-	20.25	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.3	-	21.4	-	4.25	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.6	-	5.7	-	2.59	-
CaO	3.2	-	22.4	-	63.6	-
MgO	-	-	-	-	2.24	6% (max)
SO <sub>2</sub>	0.4	5% (max)	2.5	5% (max)	-	3% (max)
Loss in Ignition	3.2	6% (max)	0.4	6% (max)	0.55	3% (max)
Moisture Content	0.1	3% (max)	0.1	3% (max)	-	-
Insoluble residue	-	-	-	-	-	0.75% (max)
Available alkalis are equivalent Na <sub>2</sub> O	0.8	1.5% (max)	1.4	1.5% (max)	0.2	-

Sumber: Tharaniyil, 2013

### 2.7.2 Natrium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

Sodium Silikat merupakan senyawa tidak berwarna terdiri atas oksida natrium dan silika. Senyawa memiliki berbagai formula kimia dalam natrium oksida (Na<sub>2</sub>O) dan silikon dioksida atau silika (SiO<sub>2</sub>). Material ini larut dalam air dan dibuat dengan mereaksikan pasir silika dengan natrium karbonat pada suhu tinggi mulai dari 1200 hingga 1400 OC. Larutan encer dari natrium silikat disebut juga *water glass* (Sisirie, 2003).

Sodium Silikat dalam kondisi solid (bentuk padat) disebut dengan natrium metasilicate. Natrium silikat cair digunakan untuk spektrum luas dalam aplikasi industri seperti: penggunaan sebagai *sealant*, binder, *deflocculant*, pengemulsi dan

buffer. Aplikasi umumnya di *pulp* dan industri kertas, dan industri deterjen yang meningkatkan aksi deterjen dan menurunkan viskositas sabun cair (Nurudeen, 2014). Sodium silikat merupakan salah satu alkali yang memainkan peran penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi mempercepat reaksi polimerisasi. Pada aplikasi pembuatan *fireclay brick* sodium silikat berfungsi sebagai binder yang berguna untuk meningkatkan nilai dari *mechanical strength fireclay brick* (Otero, 2004).

### 2.7.3 *Foaming Agent*

Pada pengaplikasian pembuatan *fire brick* menggunakan *foaming agent* berupa hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) agar didapatkan material *firebrick* yang bersifat ringan (densitasnya rendah), porositas tinggi, dan bersifat insulator termal (Kusumawati, 2015). Hidrogen peroksida dengan rumus kimia  $H_2O_2$  merupakan bahan kimia anorganik yang memiliki sifat oksidator kuat. Senyawa  $H_2O_2$  tidak berwarna dan memiliki bau yang khas sedikit keasaman.  $H_2O_2$  larut dengan sangat baik dalam air. Dalam kondisi normal hidrogen peroksida sangat stabil, dengan laju dekomposisi yang sangat rendah. Pada saat mengalami dekomposisi hidrogen peroksida terurai menjadi air dan gas oksigen, dengan mengikuti reaksi eksotermis berikut:



Hidrogen peroksida digunakan sebagai *foaming agent* karena memiliki ketidakstabilan secara termodinamika sehingga mudah terurai menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$  sehingga menciptakan pori pada material dan menurunkan nilai densitas material. Kelebihan hidrogen peroksida adalah tidak mencemari lingkungan karena yang tersisa hanyalah air dan oksigen. *Porous fireclay brick* yang disintesis diharapkan memiliki sifat kuat, pori permukaan yang luas, isolator panas dan mempunyai densitas yang rendah (Kusumawati, 2015).



Gambar 2.2 Reaksi Disproporsi Hidrogen Peroksida (Pedziwiatr, 2018)

Semakin banyak hidrogen peroksida yang ditambahkan maka yang akan terdekomposisi menjadi  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{O}_2$  juga semakin meningkat. Sehingga menyebabkan kenaikan kadar air. Molekul  $\text{O}_2$  yang dihasilkan membuat adanya pori dalam batu bata tahan api (Syukur, 2015).

## 2.8 XRF

Flouresensi sinar-x (XRF) merupakan analisa yang didasarkan pada perilaku atom yang terkena oleh radiasi. Interaksi atom dengan cahaya dapat menyebabkan berbagai fenomena yang dipengaruhi oleh kuatnya intensitas cahaya yang berinteraksi dengan atom tersebut. Ketika material berinteraksi dengan cahaya yang memiliki energi tinggi, maka dapat menyebabkan terpentalnya elektron yang berada pada tingkat energi paling rendah pada suatu atom. Akibatnya atom berada pada keadaan tidak stabil sehingga elektron yang berada pada tingkat (kulit valensi) yang lebih tinggi akan mengisi posisi kosong yang ditinggalkan oleh elektron yang terpental tadi . proses pengisian posisi elektron pada kulit valensi yang lebih rendah dinamakan deeksitasi (Setiabudi, 2012).

Proses deeksitasi ini akan disertai dengan pemancaran cahaya dengan energi yang lebih kecil daripada energi yang menyebabkan tereksitasinya elektron. Energi yang dipancarkan dinamakan radiasi flouresensi. Radiasi flouresensi ini memiliki energi khas bergantung pada elektron yang tereksitasi dan terdeeksitasi pada atom penyusun sebuah material. Kekhasan karakteristik dari radiasi flouresensi pada setiap unsur ini memungkinkan dapat dilakukan analisa kualitatif untuk mengidentifikasi unsur-unsur berbeda. Sementara itu, analisa kuantitatif untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang dianalisa dapat

ditentukan berdasarkan intensitas dari radiasi fluoresensi yang dipancarkan. Maka dapat disimpulkan analisa XRF merupakan analisa yang menfaatkan sinar-x berenergi tinggi untuk mementalkan elektron yang berda pada tingkat energi terendah pada sampel, sehingga terjadi transisi elektron untuk mengisi posisi elektron yang tereksitasi, diiringi pemancaran kembali sinar-x karakteristik dengan energi yang lebih rendah (Setiabudi, 2012).

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Otero, 2004	Judul : Manufacture of Refractory Insulating Bricks Using <i>Fly ash</i> and Clay Hasil : Didapatkan nilai ukuran pori paling baik dengan komposisi <i>foaming agent</i> (5ml) dengan 40-42% air
2	Husin, 2008	Judul : Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kualitas Bata Beton Hasil : <i>Fly ash</i> dan Bottom Ash dapat berfungsi ganda yaitu dapat sebagai bahan pozzolan dan juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi
3	Ekaputri, 2013	Judul : Sodium sebagai Aktivator <i>Fly ash</i> , Trass, dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer Hasil : Semakin tinggi nilai molaritas Larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ dan NaOH, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat belah yang dihasilkan.

---

Judul : Sintesis Geopolimer Berbusa Berbahan Dasar  
Abu Layang Batubara dengan Hidrogen Peroksida

4 Kusumawati, 2015 sebagai Foaming Agent  
Hasil : Penambahan  $H_2O_2$  menyebabkan penurunan kekuatan material, densitas, dan konduktivitas termalnya

---

Judul : Sintesis dan Karakterisasi Foamy Geopolimer  
Berbahan Dasar Abu Layang Batu Bara  
5 Syukur, 2015 Hasil : Jumlah  $H_2O_2$  (30%) optimum yang ditambahkan untuk mendapatkan *foamy geopolimer* terbaik adalah 2% b/b. Secara umum semakin banyak jumlah hidrogen peroksida yang ditambahkan nilai densitas dan konduktivitas panasnya akan semakin turun

---



[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)