

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fly Ash* Batubara

Fly ash merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batubara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. Proses pembakaran batubara dari PLTU menghasilkan limbah yang berupa abu terbang (*fly ash*). Abu terbang batubara merupakan sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf dan abu terbang mengandung banyak bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan mineral (*mineral matter*). Proses pembakaran pada unit pembangkit uap (*boiler*) menghasilkan limbah padat yakni abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Abu terbang ditangkap oleh *electric precipitator* sebelum pembuangan ke udara melalui cerobong. Partikel abu yang terbawa gas buang adalah *fly ash*, sedangkan *bottom ash* merupakan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku. Dibawah ini merupakan gambar *fly ash* dan *bottom ash* batubara



Gambar 2.1 *fly ash* dan *bottom ash* batubara

Komposisi limbah abu yang dihasilkan yakni 80 - 90 % abu terbang, sedangkan sisanya 10 – 20 % abu dasar (Edy, 2007). Produksi limbah *fly ash* dan abu dasar dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan penggunaan batubara sebagai bahan baku dalam industri PLTU. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2021, limbah *fly ash* yang dihasilkan mencapai

9,7 juta ton/tahun. Peningkatan ini tidak hanya terjadi di Indonesia namun juga di dunia. Penggunaan batubara pada proses pembakaran menghasilkan lebih banyak emisi limbah dibandingkan bahan bakar minyak dan gas (Harijono, 2006).

Abu terbang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara lebih kecil dari 0,075 mm (Koesnadi, 2008).

Fly ash batubara dimanfaatkan berbagai bidang seperti penyusun beton untuk jalan dan bendungan; menimbun lahan bekas pertambangan; untuk *recovery* magnetik, *cenosphere* dan karbon; pembuatan bahan baku keramik, gelas, batubata, dan refraktori. Selain itu *fly ash* juga dapat menjadi bahan penggosok (polisher) filler aspal, plastik, dan kertas; pengganti dan bahan baku semen; aditif dalam pengolahan limbah (waste stabilization), dan mengkonversi menjadi zeolit dan adsorben (Silvonen, 2001). Dibawah ini komposisi senyawa yang terdapat dalam *fly ash* batubara yang diambil dari PT. Semen Baturaja

Tabel 2.1 Komposisi senyawa dalam *fly ash* batubara

No	Parameter Uji	Satuan	Fly Ash	Syarat Mutu	Metode
1	Silicium di-Oxide, SiO ₂	% ar	58.70		Wet Analysis
2	Aluminium Oxide, Al ₂ O ₃	% db	30.46		Wet Analysis
3	Ferri Oxide, Fe ₂ O ₃	% ar	4.92		Wet Analysis
4	Calcium Oxide, CaO	% db	3.18		Wet Analysis
5	Magnesium Oxide, MgO	% ar	1.52		Wet Analysis
7	Moisture Content, H ₂ O	% ar	0.54	max. 3 %	ASTM C-311
8	Lost of Ignition, LOI	% db	0.63	max. 6 %	ASTM C-311

Sumber : PT Semen Baturaja

2.2 Silika

Silika (SiO_2) merupakan serangkaian mineral yang terdiri oleh satu atom silikon (Si) dan dua atom oksigen (O_2). Oksigen (O_2) adalah bagian yang paling banyak di permukaan bumi ini, sedangkan silika merupakan bagian terbanyak kedua yang tersedia pada permukaan bumi. Pada silika terkandung gugus silanol (gugus OH) sehingga lebih *hydrous*. Silika dapat diperoleh dari bahan alam dengan menggunakan metode ekstraksi. Tujuan dari metode ini adalah memisahkan zat-zat yang terlarut antara dua cairan yang tidak saling mencampur (Adziimaa dkk, 2013).



Sumber : alibaba.com, 2019

Gambar 2.2 Silika amorf

Silika terdiri dari berbagai bentuk yaitu: silika kristalin, silika mikrokristalin, silika *viterous* (*supercooled liquid glasses*), dan silika amorf. Berdasarkan struktur molekulnya silika dibagi menjadi dua bagian yaitu: silika kristalin dan silika amorf. Silika kristalin adalah silika yang susunan molekulnya membentuk pola tertentu (kristal) sedangkan silika amorf adalah silika yang susunan molekulnya tidak teratur. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintetisnya berupa amorf. Secara sintetis senyawa silika dapat dibuat dari larutan silikat atau dari pereaksi silan. Sifat-sifat fisika dari silika dapat dilihat pada dibawah ini

Tabel 2.2 Sifat-sifat Fisika Silika

Sifat Fisika	Keterangan
Nama IUPAC	Silikon dioksida
Nama lain	Kuarsa, silika, silikat dioksida, silicon oksida
Rumus molekul	SiO ₂
Massa molar	60,08 gr/mol
Penampilan	Kristal transparan
Titik lebur	1.600-1.725°C
Titik didih	2.230°C

Adapun sifat kimia dari silika yaitu:

Mineral silika mempunyai berbagai sifat kimia antara lain sebagai berikut:

a. Reaksi Asam

Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap asam hidrofluorida dan asam fosfat, (Vogel, 1985)

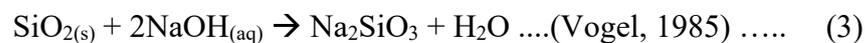


Dalam asam berlebih reaksinya adalah:



b. Reaksi Basa

Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat, seperti dengan hidroksil alkali, (Vogel, 1985)



2.3 Silikon

Silikon merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol Si dan nomor atom 14. Sebagai metaloid tetravalen, silikon kurang reaktif jika dibandingkan dengan karbon yang mempunyai sifat kimia yang hampir sama. Silikon sering kali ditemukan dalam bentuk silikon dioksida (juga dikenal sebagai silika), dan silikat. Silibatu kristal, batu api, dan batu baiduri adalah merupakan beberapa bentuk dimana silikon dioksida muncul. Silikon juga muncul sebagai silikat (berbagai

macam mineral yang meliputi silikon, oksigen, dan satu atau logam lainnya), sebagai contoh feldspar. Mineral ini muncul dalam tanah liat, pasir dan berbagai macam tipe batu seperti granit dan batu pasir. Asbestos, feldspar, tanah liat, hornblende, dan mika adalah beberapa contoh dari mineral silikat.



Sumber : aliexpres.com,2020

Gambar 2.3 Silikon

Silikon merupakan semikonduktor. Dalam bentuk *crystalline*, silikon murni berwarna abu – abu dan berkilau seperti logam metalik. Beberapa contoh senyawa silikon seperti *silicon dioxide* (SiO_2), *silicic acid* (H_4SiO_4), *silicates*, *silicate minerals*, *silicides*, silikon keramik seperti *silicon carbide* (SiC) dan *silicon nitride* (Si_3N_4), *silicon halides* seperti *silicon tetrachloride* (SiCl_4) dan *silicon tetrafluoride* (SiF_4), *trichlorosilane* (H_3SiCl_3), *silanes* [$\text{H}_2(\text{SiH}_2)_n$], *organosilicons* dan *silicons*. Pembuatan silikon dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa diantaranya seperti:

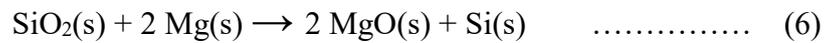
1. Mereaksikan silika (SiO_2) dengan karbon (C) di dalam suatu tungku elektrik menggunakan elektroda karbon. Pada temperatur diatas 1900°C , karbon mereduksi silika menjadi silikon menurut reaksi sebagai berikut:



Silikon cair terkumpul pada bagian dasar tungku, dan kemudian dikeluarkan dan didinginkan. Silikon yang dibuat dengan cara ini dinamakan *Industrial grade silicon* (IGS) dan paling sedikit 98% murni. (WVU Projects, 2008)

2. Mengisolasi silika (SiO_2) dengan Magnesium (Mg) dengan metode metalotermal sederhana. Metode ini dilakukan dengan menambahkan silika dan magnesium didalam cawan porselen dengan perbandingan tertentu

kemudian dipanaskan sambil diaduk pada suhu 650°C. Magnesium akan mereduksi silika menjadi silikon seperti reaksi dibawah ini :



3. Mereaksikan silikon karbida (SiC) dengan silika (SiO₂) dalam jumlah yang sangat berlebih. Silikon karbida akan disingkirkan dan terbentuk silikon, seperti dijelaskan dalam persamaan reaksi berikut:

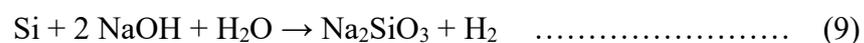


2.4 Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia terkecil karena hanya terdiri dari satu proton dalam intinya. Simbol hidrogen adalah H, dan nomor atom hidrogen adalah 1. Memiliki berat atom rata-rata 1,0079 amu, sehingga menjadikannya gas paling ringan diantara gas lainnya. Sebagian besar senyawa hidrogen sederhana bersifat kovalen dan menghasilkan elektron untuk membentuk ion hidrida. Hal tersebut menyebabkan hidrogen dapat membentuk struktur kimia bervariasi dan bereaksi menghasilkan beragam senyawa. Hidrogen dianggap sebagai pembawa energi yang merupakan sarana untuk menyimpan dan mentransmisikan energi yang berasal dari sumber energi primer. Beberapa hal yang membuat hidrogen menarik untuk dikembangkan adalah banyaknya energi yang dilepaskan ketika hidrogen terbakar dan produk pembakarannya sebagian besar mengandung air sehingga tidak menimbulkan masalah lingkungan. Reaksi pembakaran hidrogen menghasilkan air ditunjukkan pada reaksi dibawah ini :



Selain itu, hidrogen dapat diproduksi dari bahan baku air yang jumlahnya tersedia cukup banyak di alam. Proses memperoleh hidrogen dengan memisahkan molekul H₂O dalam jumlah besar namun ekonomis menjadi tantangan sendiri dalam pengembangan hidrogen. Pada penelitian sebelumnya, H₂O dengan campuran NaOH dan Si dapat digunakan untuk membuat hidrogen. Hal ini dibuktikan dengan persamaan reaksi dibawah ini :



Sifat-sifat fisik hidrogen ditunjukkan dalam Tabel 2.3, bahwa hidrogen memiliki kerapatan $0,09 \text{ kg/ m}^3$. Gas hidrogen memiliki daya apung di udara $1,2 \text{ kg/ m}^3$, kapasitas panas sebesar $14,4 \text{ kJ/ kgK}$ dan hidrogen dalam bentuk padatan memiliki konduktivitas listrik yang lebih besar daripada unsur padat lainnya. Potensi ionisasi atom hidrogen adalah $13,54 \text{ V}$.

Tabel 2.3 Sifat Kimia Hidrogen

Sifat fisika	H ₂
BM	2,01594
Densitas (g) pada 10C dan 1 atm (kg/m ³)	0,08987
Densitas (s) pada -259 ⁰ C (kg/m ³)	858
Densitas (l) pada -253 ⁰ C (kg/m ³)	708
Titik lebur (⁰ C)	-259
Titik didih pada 1 atm (⁰ C)	-253
Temperatur kritis (⁰ C)	-240
Tekanan kritis (atm)	12,8
Densitas kritis (kg/m ³)	31,2
Kalor lebur pada -259 ⁰ C (kJ/kg)	58
Kalor evaporasi pada -253 ⁰ C (kJ/kg)	447
Konduktivitas thermal pada -25 ⁰ C	0,019
Viskositas pada -25 ⁰ C (Cp)	0,00892
Cp (g) (kg/ ⁰ C)	14,3
Cp (l) (kg/ ⁰ C)	8,1

Sumber : Singh, 2015

Unsur hidrogen digunakan terutama dalam produksi ammonia, metil alkohol, bahan organik dan sejumlah besar bahan makanan. Hidrogen dari elektrolisis air dengan kemurnian yang tinggi dapat digunakan untuk industri elektronik, metalurgi, makanan, kaca apung, *finechemical*, dan *aerospace* serta digunakan sebagai campuran bahan bakar bersama compress natural gas (HCNG) di masa depan, dengan perkiraan tingkat produksi hidrogen sebesar $100\text{-}3000 \text{ Nm}^3/\text{jam}$ (Chi dan Yu, 2018). Konsumsi hidrogen terbesar adalah dalam pembuatan amonia

(49%), pemurnian minyak bumi (37%), untuk memproduksi metanol (8%) dan untuk produksi lain-lain (6%) (Ilcham, 2011)

2.5 Metode Metalotermal

Metode metalotermal sering disebut metalotermik. Metalotermik merupakan salah satu metode yang dipelajari secara umum dalam ekstraksi metalurgi. Ekstraksi metalurgi dibagi menjadi tiga metode yakni hidrometalurgi, pirometalurgi, dan elektrometalurgi. Pirometalurgi merupakan metode yang mendasari pengembangan metode metalotermal. Metalotermal menggunakan prinsip yang sama dengan proses pemanggangan reduksi dalam pirometalurgi. Metalurgi merupakan ilmu dan teknologi yang mempelajari proses pengolahan mineral dan logam. Ruang lingkup metalurgi meliputi;

- a. Pengolahan mineral (*mineral dressing*)
- b. Ekstraksi logam dari konsentrat mineral (*extractive metallurgy*)
- c. Perekayaan sifat fisik logam (*physical metallurgy*)

Pirometalurgi merupakan suatu proses ekstraksi logam menggunakan energi panas. Suhu yang digunakan berkisar 500°C - 1600°C. Logam pada suhu 500°C - 1600°C kebanyakan berubah fasenya. Sumber energi panas pada proses pirometalurgi berasal dari;

1. Energi kimia (reaksi eksotermik)
2. Bahan bakar; kokas, gas dan minyak bumi
3. Energi listrik
4. Energi terselubung atau tersembunyi yakni berupa panas buangan untuk pemanasan awal.

Pirometalurgi terbagi menjadi 3 proses, antara lain;

1. Drying (pengeringan)
Suhu pengeringan diatur diatas titik didih air sekitar 120°C.
2. Calcining (klasinasi)
Klasiinasi merupakan dekomposisi panas material. Contoh dekomposisi hydrate seperti kalsium karbonat menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida atau besi karbonat menjadi besi oksida.

3. Roasting (Pemanggangan)

Pemanasan dengan udara berlebih dimana udara dihembuskan bijih. Pemanasan disertai penambahan reagen dan tidak mencapai titik leleh (Widodo, 2008).

Metalotermik merupakan proses peleburan oksida logam dengan menggunakan logam lain sebagai reduktor. Metode ini dilakukan apabila logam stabil sehingga tidak dapat direduksi menggunakan karbon pada suhu relatif rendah. Reduksi menggunakan karbon dapat digunakan namun pada suhu yang sangat tinggi. Reaksi umumnya bersifat eksotermik sehingga kebutuhan kalor sebagian tercukupi (Hansen, 2012). Logam yang sering digunakan adalah Mg, Al, dan Ca. Reduksi metalotermik merupakan perpindahan antara oksida logam terhadap logam lainnya (Yucel dkk, 2014). Mekanisme redok ada dua macam, yakni :

1. Mekanisme transfer elektron, terjadi perpindahan elektron dari atom ke atom yang lain.
2. Mekanisme transfer atom, disini reduktor dan oksidator terikat satu dengan yang lain oleh jembatan atom, molekul atau ion. Melalui jembatan ini elektron berpindah dari satu atom ke atom lain.

Oksidasi berarti mendapatkan oksigen sedangkan reduksi kehilangan oksigen. Oksidator merupakan zat pengoksidasi yang memberikan oksigen. Reduktor merupakan zat pereduksi yang menerima oksigen.