

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fly Ash* (Abu Terbang) Batubara

Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat limbah padat yaitu *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. Di Indonesia, produksi limbah *fly ash* dan *bottom ash* dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU. Pembakaran batubara menghasilkan emisi limbah yang lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar minyak dan gas. Selain itu, pembakaran batubara juga menghasilkan gas-gas oksida belerang (SO_x), oksida nitrogen (NO_x), hidrokarbon, karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) (Harijono, 1993).

Komponen utama dari *fly ash* adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃), sisanya merupakan karbon, kalsium, dan magnesium. Rumus empiris *fly ash* adalah Si_{1,0}Al_{0,45}Ca_{0,51}Na_{0,047}Fe_{0,039}Mg_{0,020}K_{0,013}Ti_{0,011}. *Fly ash* juga memiliki komponen fasa amorf seperti silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan komponen fasa kristalin seperti α-quartz (SiO₂) dan mullit (2SiO₂.3AlO₃), hematite (α-Fe₂O₃) dan magnetit (Fe₃O₄) (Tanaka dkk, 2002). Sifat-sifat fisika, kimia dan mineralogi *fly ash* tergantung pada komposisi batubara awal, kondisi pembakaran, kinerja dan efisiensi alat pengontrol emisi, penanganan dan penyimpanan serta iklim (Sukandarrumidi, 2009).

Beberapa sifat fisik dan sifat kimia dari *fly ash*, antara lain:

1. Sifat Fisik

Menurut ACI (1992), sifat fisik *fly ash* batubara berdasarkan bentuk, warna, ukuran, tampilan, kerapatan, dan luas area spesifik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat fisik *fly ash* batubara

Bentuk	Berbentuk bola padat atau berongga
Warna	Berwarna keabu-abuan
Ukuran	1- 100 μm
Tampilan	Sangat halus
Kerapatan	2100-3000 kg/m^3
Luas Area Spesifikasi	170-1000 m^2/kg

Sumber: ACI (1992)

Sifat fisik *fly ash* menurut ACI (1992) adalah bentuknya yang berbentuk bola padat atau berongga, memiliki tampilan yang sangat halus dengan warna keabu-abuan dengan ukuran partikel $1\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$, memiliki kerapatan 2100-3000 kg/m^3 , dan memiliki luas area spesifik antara 170-1000 m^2/kg .

2. Sifat Kimia

Menurut Sukandarrumidi (2009), komposisi unsur-unsur kimia utama dari *fly ash* dibedakan menjadi tiga kelompok sebagai berikut.

1. Oksida logam asam antara lain: SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2
2. Oksida logam basa antara lain: Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , dan Na_2O
3. Unsur-unsur lain seperti P_2O_5 , SO_3 , sisa karbon, dan beberapa unsur lain

Adapun secara kimia unsur utama penyusun *fly ash* adalah Si, Al, Fe, serta Ca, K, Na, dan Ti. Oleh karena itu, *fly ash* disebut sebagai bahan *amorfe ferroaluminosilikat*. Selain komponen utama tersebut, *fly ash* juga mengandung unsur-unsur lain yaitu Sb, Be, Cu, U, Ge, dan sebagainya (Muchjidin, 2006).

2.2 *Fly Ash* sebagai Adsorben

Fly ash yang dikonversi menjadi adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari *fly ash*. Keuntungan adsorben berbahan baku *fly ash* adalah biayanya yang murah. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas maupun limbah cair. Adsorben ini dapat digunakan dalam penyisihan logam berat, limbah zat warna berbahaya, dan senyawa organik pada pengolahan limbah. *Fly ash* dapat dipakai secara langsung sebagai adsorben atau dapat juga

melalui perlakuan kimia dan fisik tertentu sebelum menjadi adsorben (Sunardi, 2006).

Fly ash memiliki keistimewaan dalam hal komposisinya, dengan kandungan utama *fly ash* berupa senyawa silika, alumina, serta beberapa senyawa oksida lainnya. Adapun senyawa-senyawa tersebut memiliki kemampuan sebagai adsorben, diantaranya untuk menyerap kandungan ion logam berat di dalam air (Wardhana dan Erga, 2006).

2.3 Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan bahan alami yang terdapat dalam kerak bumi. Kadmium murni berupa logam berwarna putih perak dan lunak, namun bentuk ini tak lazim ditemukan di lingkungan. Umumnya kadmium terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain seperti *Oxygen (Cadmium Oxyde)*, *Clorine (Cadmium Chloride)* atau belerang (*Cadmium Sulfide*). Kebanyakan kadmium (Cd) merupakan produk samping dari pengecoran seng, timah atau tembaga kadmium yang banyak digunakan berbagai industri, terutama plating logam, pigmen, baterai dan plastik. Kadmium dalam air laut berbentuk senyawa klorida ($CdCl_2$), sedangkan dalam air tawar berbentuk karbonat ($CdCO_3$). Pada air payau yang biasanya terdapat di muara sungai kedua senyawa tersebut jumlahnya seimbang (Achmad, 2004).

Kadmium dalam air berasal dari pembuangan industri dan limbah pertambangan. Logam ini sering digunakan sebagai pigmen pada keramik, dalam penyepuhan listrik, pada pembuatan alloy, dan baterai alkali. Keracunan kadmium dapat bersifat akut dan kronis. Efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kelenjar pencernaan serta mengakibatkan kerapuhan pada tulang (Saeni, 1997). Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini

bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *The Big Three Heavy Metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 gram per orang atau 7 gram per kg berat badan.

Logam ini masuk ke dalam tubuh organisme hidup bersama makanan yang dikonsumsi dan telah terkontaminasi oleh logam kadmium dan/atau persenyawaannya. Dalam tubuh biota perairan, jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi di badan perairan (Palar, 2004).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi yang ada dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penyerap dimana terjadi suatu ikatan kimia atau fisika antara substansi dengan zat penyerap. Adsorpsi terjadi karena molekul-molekul pada permukaan zat padat atau cair yang memiliki gaya tarik dalam keadaan tidak setimbang, yang cenderung tertarik ke arah dalam atau gaya kohesi adsorben lebih besar dari pada gaya adhesinya. Ketidaksetimbangan gaya tarik tersebut mengakibatkan zat padat yang digunakan sebagai adsorben cenderung menarik zat-zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya (Alberty, 1990).

Adsorpsi yang terjadi pada permukaan zat padat disebabkan oleh adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat. Energi potensial permukaan dari molekul turun dengan mendekatnya molekul ke permukaan. Molekul teradsorpsi dapat dianggap membentuk fasa dua dimensi dan biasanya terkonsentrasi pada permukaan atau antar muka (Alberty dan Daniels, 1983).

Menurut Atkins (1997) adsorpsi dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya interaksi van der Waals antara adsorbat dan substrat dengan jarak jauh, lemah, dan energi yang dilepaskan jika partikel teradsorpsi secara fisik mempunyai orde besaran yang sama dengan entalpi kondensasi. Entalpi yang kecil ini tidak cukup untuk menghasilkan pemutusan ikatan, sehingga molekul yang terfisisorpsi tetap mempertahankan

identitasnya walaupun molekul itu dapat terdistorsi dengan adanya permukaan. Adsorpsi fisika bersifat reversibel, umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur, jumlah adsorpsi berkurang dengan mencolok. Penerapannya antara lain pada penentuan luas permukaan, analisis kromatografi, pemurnian gas dan pertukaran ion. Panas adsorpsi yang menyertai adsorpsi fisika yaitu kurang dari 20,92 kJ/mol (Adamson, 1990).

2. Adsorpsi kimia

Dalam adsorpsi kimia, proses adsorpsi terjadi dengan adanya pembentukan ikatan kimia (kovalen) dengan sifat yang spesifik karena tergantung pada jenis adsorben dan adsorbatnya. Adsorpsi kimia bersifat irreversibel, berlangsung pada temperatur tinggi dan tergantung pada energi aktivasi. Karena terjadi pemutusan ikatan, maka panas adsorpsinya mempunyai kisaran yang sama seperti reaksi kimia, yaitu di atas 20,92 kJ/mol. Penerapannya antara lain pada proses korosi dan katalisis heterogen (Adamson, 1990).

Kecepatan adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Konsentrasi

Proses adsorpsi sangat sesuai untuk memisahkan bahan dengan konsentrasi yang rendah dari campuran yang mengandung bahan lain dengan konsentrasi tinggi.

2. Luas permukaan

Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan.

3. Suhu

Adsorpsi akan lebih cepat berlangsung pada suhu tinggi, namun demikian pengaruh suhu adsorpsi zat cair tidak sebesar pada adsorpsi gas.

4. Ukuran partikel

Semakin kecil ukuran partikel yang diadsorpsi maka proses adsorpsinya akan berlangsung lebih cepat.

5. pH

pH mempunyai pengaruh dalam proses adsorpsi. pH optimum dari suatu proses adsorpsi ditetapkan melalui uji laboratorium.

6. Waktu kontak

Waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan ion logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam (Bernasconi, 1995).

2.5 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Analisa menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur morfologi dari *fly ash* dengan aktivasi maupun tanpa aktivasi.

Pada dasarnya analisis dengan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* ini menggunakan sinyal yang dihasilkan elektron yang dipantulkan atau sebagai berkas sinar elektron sekunder. Prinsip kerja SEM adalah *scanning*, dimana berkas elektron diarahkan pada titik-titik permukaan bahan. Gerakan elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah disebut *scan*. Jika seberkas elektron ditembakkan pada permukaan spesimen maka sebagian elektron akan dipantulkan kembali dan sebagian lagi diteruskan (Brockway dan Moser, 1963).

2.6 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi material dan menentukan komposisi dari campuran. Sampel yang digunakan biasanya berupa material dalam keadaan padat, cair, atau gas (Irani, 2009). Tujuan FTIR adalah untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada adsorben.