

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

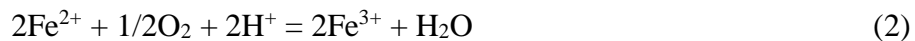
### 2.1 Air Asam Tambang

Air asam tambang adalah salah satu permasalahan lingkungan yang dihasilkan oleh industri pertambangan. Air asam tambang merupakan hasil dari oksidasi batuan yang mengandung pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dan mineral sulfida dari sisa batuan yang terpapar oleh oksigen yang berada dalam air (Elberling et al, 2008). Permasalahan air asam tambang adalah salah satu dampak potensial yang dihadapi industri pertambangan. Air asam tambang juga mengandung logam berat seperti besi (Fe), aluminium (Al), mangan (Mn). Kesalahan dalam pemantauan, pengumpulan dan pengolahan air asam tambang dapat menyebabkan kontaminasi terhadap air tanah dan air permukaan yang berdampak kepada ekosistem, manusia dan struktur bangunan (MEND Program, 1997).

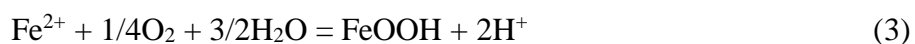
Air asam tambang (AAT) dihasilkan di atau dalam sisa batuan, *tailing*, dinding *pit* tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Mineral sulfida seperti pirit teroksidasi dan hadir di air dan udara melalui oksigen yang menghasilkan air asam tambang melalui proses kimia dan biokimia. Oksidasi mineral sulfida dapat dideskripsikan dengan persamaan (Morin and Hutt, 1997 dalam Bussiere, 2009) dengan langkah pertama terjadinya oksidasi langsung dari pirit ( $\text{FeS}_2$ ) oleh oksigen yang menghasilkan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ferrous iron ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan keasaman ( $\text{H}^+$ ) :



Reaksi selanjutnya ferrous iron teroksidasi menjadi ferric iron ( $\text{Fe}^{3+}$ ).



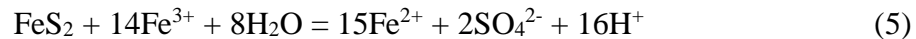
Ferrous iron juga dapat teroksidasi menghasilkan iron hidroksida ( $\text{FeOOH}$ ) dan keasaman.



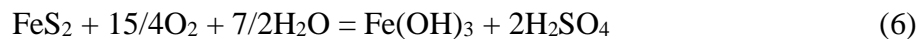
Pada saat  $\text{pH} > 4$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  akan terendapkan sebagai ferric hidroksida ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), lepas ke lingkungan dengan sangat asam.



Pada saat  $\text{pH} < 4$ , Ferric iron akan larut dan mengoksidasi pirit secara langsung dan melepas asam kesekelilingnya dengan bebas.



Secara keseluruhan reaksi oksidasi pirit dapat diperlihatkan sebagai berikut :



Permasalahan air asam tambang adalah salah satu dampak potensial yang dihadapi industri pertambangan. Air asam tambang juga mengandung logam berat seperti besi (Fe), aluminium (Al), mangan (Mn). Berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 08 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah Cair (BMLC) Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Kegiatan Pertambangan Batubara.

Tabel 2.1. Baku Mutu Limbah Cair dan Pertambangan Batubara

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH		6 – 9
Residu Tersuspensi	mg/l	300
Besi (Fe)	mg/l	7
Mangan (Mn)	mg/l	4

sumber : Anonim, 2012.

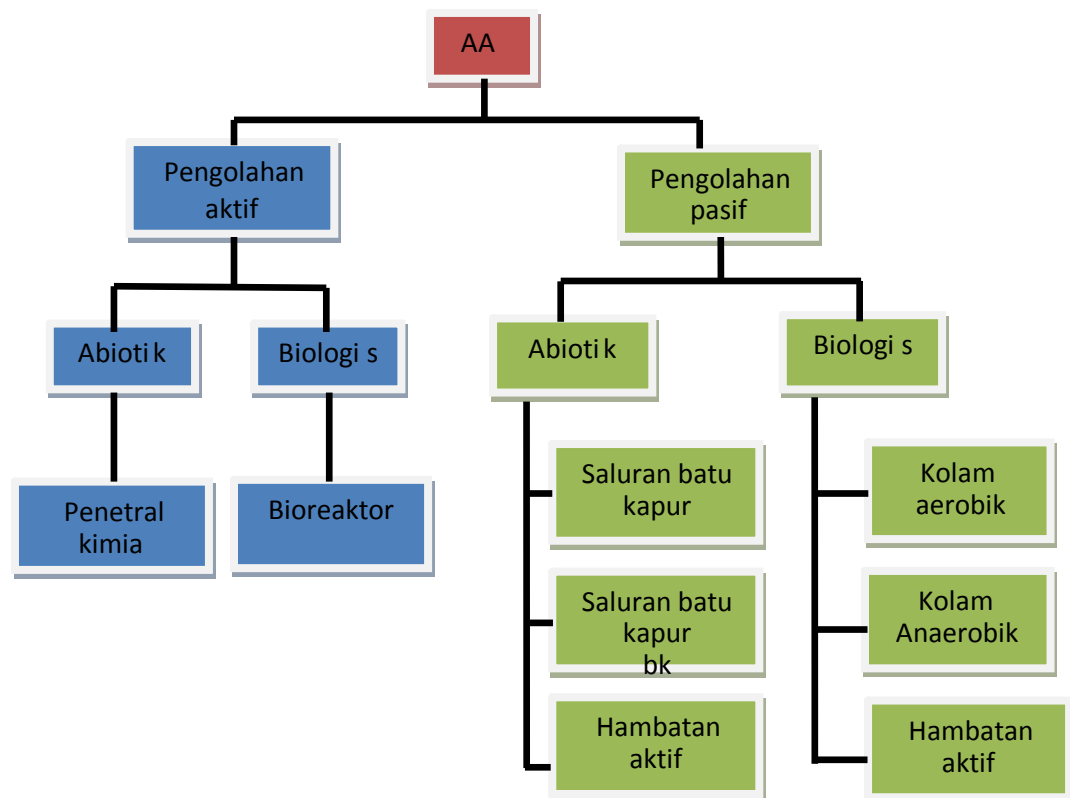
Air Asam Tambang (AAT) merupakan limbah yang berbahaya sebab mengandung logam-logam berat dan sulfat yang tinggi. Pengolahan AAT dapat dilakukan melalui 2 cara, yaitu secara aktif maupun pasif. Pengolahan secara aktif adalah melalui penambahan bahan kimia bersifat alkali (Zahriska Dewani, 2015).

Pengolahan yang paling umum digunakan adalah dengan metode mengolah debit air asam tambang dengan pengolahan aktif dimana pengolahan menggunakan kimia penetral yang ditambahkan terus menerus ke air asam tambang, (Johnson and Hallberg, 2005 dalam Newcombe, 2009). Proses penetralan air asam tambang ini

akan mengendapkan logam-logam terlarut dan akan membentuk selimut lumpur (*sludge blanket*). Kelemahan dari pengolahan aktif ini adalah memerlukan biaya yang besar dan memindahkan atau membuang selimut lumpur yang mengandung logam.

Pemilihan metode pasif dalam pengolahan air asam tambang dibandingkan dengan pengolahan secara aktif mempunyai kelebihan terutama dari segi perawatan dan biaya yang lebih rendah. Sistem pengolahan pasif hanya memerlukan perawatan dan penggantian secara periodik.

Gambar 2.1 dibawah ini memperlihatkan beberapa alternatif pemilihan pengolahan air asam tambang.



Gambar 2.1 Pemilihan pengolahan air asam tambang (amd), Johnson and Hallberg, 2005 Dalam Newcombe (2009)

Kelemahan dari pengolahan aktif ini adalah memerlukan biaya yang besar dan memindahkan atau membuang selimut lumpur yang mengandung logam. Sedangkan pengolahan pasif yang biasa dilakukan adalah sistem SAPS (*Successive*

*Alkalinity Producing System*). Kelemahan dari pengolahan pasif adalah menyebabkan terjadinya peningkatan pH dan reduksi logam. Sehingga perlu dikembangkan alternatif pengolahan lain, salah satunya adalah menggunakan penyerapan.

*Successive Alkalinity Producing System* (SAPS) merupakan salah satu metode pengolahan pasif air asam tambang yang terdiri atas lapisan bahan organik dan batu kapur. Keduanya disusun secara vertikal dengan ketebalan tertentu. Air asam tambang yang diolah akan mengalir secara vertikal ke dalam sistem berdasarkan tekanan gravitasi hidrolis.

Pada sistem SAPS terdapat dua proses utama yang menyebabkan terjadinya Peningkatan pH dan reduksi logam, yakni larutnya batu kapur dan reduksi sulfat secara biologis. Kedua proses ini menghasilkan alkalinitas dalam bentuk bikarbonat sebagai senyawa penetral.

Lapisan bahan organik yang umum digunakan adalah komposisi produk organik sisa yang biasanya dari industri perkebangan jamur yang disebut dengan *Spent Mushroom Substrat* (SMS). SMS merupakan material organik yang bersifat heterogen yang mengandung serbuk gergaji, kotoran hewan, dedak dan gypsum.

Menurut Neculita (2009), efisiensi pengolahan secara pasif air asam tambang dengan bioreaktor, dalam hal ini SMS dan batu kapur dapat menaikkan pH dari 2,9-5,7 menjadi pH 6 dan mereduksi logam 60-82% untuk logam Fe, dan 99,9% untuk logam Cd, Ni dan Zn dengan *hidraulic retention times* (HRTs) atau waktu kontak 7,3 dan 10 hari.

## **2.2 Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara**

*Fly ash* merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. *Fly ash* terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang

hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m<sup>2</sup>/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain warnanya abu-abu keputihan dan ukurannya sangat halus yaitu sekitar 88%.

*Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Semen Baturaja yang telah diuji komposisinya terlebih dahulu. Adapun komposisinya, sebagai berikut

Tabel 2.2. Komposisi *Fly Ash*

Komponen	Standar	Hasil Uji
SiO <sub>2</sub>	44 – 66 %	rata-rata 47,38 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17 – 37 %	rata-rata 29,14 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,3 – 8,6 %	rata-rata 4,5 %
CaO	1,64 – 6,41 %	rata-rata 4,11 %
MgO	1,16 – 3,21 %	rata-rata 1,08 %
Blaine	4.939 – 8.788 cm <sup>2</sup> /gr	rata-rata 6.860 cm <sup>2</sup> /gr
H <sub>2</sub> O	0,1 – 0,52 %	rata-rata 0,29 %
LOI	1,03 – 3,78 %	rata-rata 2,34 %

sumber : Anonim, 2017

Abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam (Novia dkk, 2015), diantaranya :

- a. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
- b. Penimbun lahan bekas pertambangan
- c. Recovery magnetit, *cenosphere*, dan karbon
- d. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
- e. Bahan penggosok /polisher
- f. Filler aspal, plastik, dan kertas
- g. Pengganti dan bahan baku semen
- h. Aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*)
- i. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

### 2.3 Fly Ash sebagai Adsorben

Kandungan utama pada *fly ash* adalah  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kondisi silika dan alumina dalam *fly ash* yang cukup besar memungkinkan *fly ash* digunakan sebagai adsorben yang potensial. Dengan besarnya kadar kedua komponen tersebut dalam *fly ash* berarti banyak pusat-pusat aktif dari permukaan padatan yang dapat berinteraksi dengan adsorbat.

Penggunaan *fly ash* sebagai adsorben sudah banyak dilakukan, diantaranya Lasryza dan Sawitri (2012) membuat *fly ash* sebagai adsorben emisi gas CO pada kendaraan bermotor dengan memvariasikan suhu aktivasi dari *fly ash*. Lestari (2013) telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah abu terbang sebagai adsorben untuk penentuan kadar gas  $\text{NO}_2$  di udara, hasil yang diperoleh adalah *fly ash* dapat menyerap gas  $\text{NO}_2$  dengan optimum dalam waktu 5 menit.

Kemampuan *fly ash* sebagai adsorben gas  $\text{NO}_2$  dapat dilihat dari konsentrasi gas  $\text{NO}_2$  yang terserap. Semakin bertambahnya konsentrasi maka semakin banyak molekul adsorbat dan adsorben yang saling berinteraksi dalam proses adsorpsi sehingga menyebabkan adsorpsi semakin meningkat. Selain itu juga dapat disebabkan karena permukaan adsorben mempunyai sejumlah tertentu situs aktif adsorpsi. Banyaknya situs aktif tersebut sebanding dengan luas permukaan adsorben dan masing-masing situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat. Pada keadaan dimana tempat adsorpsi belum jenuh dengan adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat akan dapat menaikkan jumlah zat yang teradsorpsi. Bila tempat adsorpsi sudah jenuh dengan adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat relatif tidak menaikkan jumlah zat yang teradsorpsi. Dalam penelitian ini jika konsentrasi adsorbat dinaikkan lagi maka kemungkinan besar jumlah zat yang teradsorpsi juga akan naik sampai pada titik tertentu dimana adsorben sudah tidak dapat mengadsorpsi lagi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah abu terbang (*fly ash*) batubara dapat digunakan sebagai adsorben untuk pengukuran gas  $\text{NO}_2$ , baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Penelitian ini dapat digunakan untuk keperluan monitoring udara sehingga dapat ditentukan langkah yang tepat untuk menanggulangi permasalahan pencemaran udara oleh gas  $\text{NO}_2$  (Yuliani Tri Lestari, 2013)

Penelitian yang dilakukan Kumar dkk (2014) menunjukkan bahwa *baggage fly ash* (BFA) adalah adsorben yang efektif untuk menghilangkan akrilonitril dari larutan. Optimum dosis adsorben adalah 4 g/l larutan. Keseimbangan antara adsorbat dalam solusi dan pada permukaan adsorben praktis dicapai dalam 5 jam. Adsorben dari *fly ash* juga dibuat untuk menghilangkan merkuri dengan memodifikasi *fly ash* dan zeolit yang dikenal dengan nama *hybrid mesoporous aluminosilicate sieve* (HMAS) (Liu dkk, 2013). Javadian dkk (2013) membuat ZFA (*zeolite based geopolymer that synthesized by coal fly ash*) untuk mengadsorpsi ion Cd (II), dilihat dari parameter termodinamika adsorpsi terjadi secara spontan dan endotermis. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa geopolimer berbasis *fly ash* merupakan alternatif yang baik untuk menggantikan adsorben yang mahal seperti karbon aktif dalam menghilangkan logam berat pada limbah dan air limbah.

Pemanfaatan limbah *fly ash* sebagai adsorben (Fahriyah, 2009 dalam Yuliani Tri Lestari, 2013) merupakan contoh pemanfaatan yang efektif. Limbah *fly ash* ini dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyisihkan COD pada limbah cair domestik, penyisihan ion logam berat pada limbah cair, adsorben limbah batik, adsorben untuk gas CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, merkuri (Hg), dan gas-gas organik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa limbah *fly ash* dapat digunakan sebagai adsorben.

## 2.4 Kinetika Adsorpsi

Adsorpsi merupakan fenomena di mana sejumlah kuantitas gas atau larutan menetap pada suatu permukaan. Sebagai contoh kontak antara gas atau larutan pada suatu logam. Interaksi yang terjadi akan menyebabkan sifat permukaan logam mengalami perubahan. Gas atau larutan yang tertarik disebut adsorbat sedangkan permukaan logam disebut adsorben (Cash, 2001). Model isotherm adsorpsi yang umum digunakan ada dua macam yaitu isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich.

### a. Adsorpsi Isotherm Langmuir

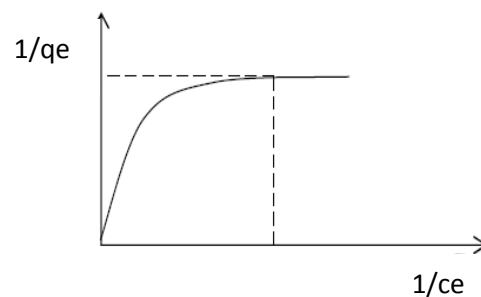
Langmuir mengembangkan suatu Model kuantitatif untuk menjelaskan fenomena isotherm adsorpsi dengan pendekatan kinetika. Analog dari penurunan persamaan adsorpsi pada gas, Langmuir mengasumsikan bahwa pada permukaan

adsorben terdapat situs-situs aktif yang proporsional dengan luas permukaan. Model ini berdasar pada beberapa asumsi, yaitu (Sembodo, 2006) :

1. Permukaan adsorben bersifat homogen, sehingga energi adsorpsi konstan pada seluruh bagian.
  2. Tiap atom teradsorpsi pada lokasi tertentu di permukaan adsorben.
  3. Tiap bagian permukaan hanya dapat menampung satu molekul atau atom.
- Penurunan persamaan isotherm adsorpsi Langmuir sistem cair-padat didasarkan pada kesetimbangan proses adsorpsi dan desorpsi adsorbat di permukaan padatan. Model persamaan Langmuir dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{k}{q_{maks}} * \frac{1}{c_e} + \frac{1}{q_{maks}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana  $q_e$  adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi per unit berat oleh adsorben ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $C_e$  adalah konsentrasi adsorbat dalam keadaan setimbang ( $\text{mg L}^{-1}$ ), sedangkan  $q_{maks}$  dan  $k$  adalah konstanta Langmuir. Nilai dari  $q_{maks}$  dan  $k$  dapat diperoleh dari intersep dan slope dari plot persamaan  $1/q_e$  versus  $1/c_e$ .



#### b. Adsorpsi Isotherm Freundlich

Isotherm Freundlich digunakan untuk model kinetika adsorpsi pada permukaan adsorben yang heterogen. Bentuk linear dari persamaan Freundlich dinyatakan dalam persamaan berikut:

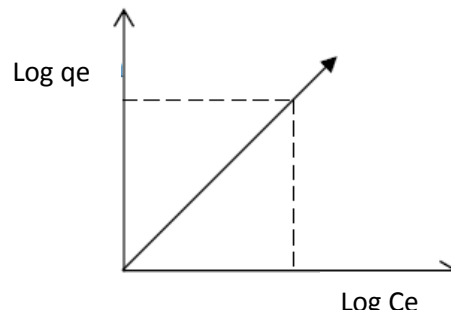
$$q_e = K_F C^{1/n} \dots \dots \dots (2)$$

dimana  $K_F$  dan  $n$  adalah konstanta Freundlich. Bentuk linear dari persamaan Freundlich dinyatakan dalam persamaan :



$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots(3)$$

Konstanta  $K_F$  dan  $n$  merupakan kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. Nilai  $K_F$  dan  $n$  diperoleh dari intersep dan slope dari plot grafik antara  $\log q_e$  versus  $\log C_e$ .



## 2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi Adsorpsi

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. pH optimum pada adsorpsi ion Cd (II) adalah 5 (Javadian dkk, 2013).

## 6. Waktu kontak

Waktu kontak sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Semakin lama Waktu kontak memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik.