

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fly Ash* (Abu Terbang)

Komponen terbesar dari pembakaran batu bara adalah abu batu bara, khususnya abu layang atau *fly ash*. *Fly ash* bersama-sama aliran gas memasuki suatu cerobong asap dalam proses pembakaran batu bara. *Fly ash* akan terkumpul pada rangkaian alat pengendali emisi atau langsung keluar melalui cerobong asap dan berterbangan ke udara bebas. Sifat kimiawi, fisikawi dan mineralogi *fly ash* tergantung berdasarkan komposisi awal batu bara tersebut, kondisi pembakaran, iklim serta kinerja dan efisiensi alat pengendali emisi (Sukandarrumidi, 2009).

Fly ash batu bara yang berasal dari pembangkit listrik umumnya memiliki komponen utama berupa silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). Sebanyak 55-85% dari abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara merupakan *fly ash* dan sisanya berupa abu dasar atau *bottom ash* (Haryanti, 2015). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Haryanti (2015) terhadap *fly ash* batu bara PLTU Asam-asam, kandungan silika relatif tinggi yaitu sebesar 74,2%, sedang alumina hanya senilai 5,7%, serta Fe_2O_3 terdapat sekitar 14,4%. Adapun kandungan logam alkali seperti CaO dan MgO yang masing-masing terkandung 2,4% dan 2,03%.

2.1.1 Pemanfaatan *Fly Ash*

Telah banyak penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* batu bara yang dilakukan guna meningkatkan nilai ekonomisnya serta mereduksi dampak negatifnya terhadap lingkungan. *Fly ash* yang sebelumnya dianggap sebagai polutan lama kelamaan mengalami pergeseran fungsi. Dewasa ini *fly ash* sering diteliti baik sifat fisika ataupun kimiawinya guna dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

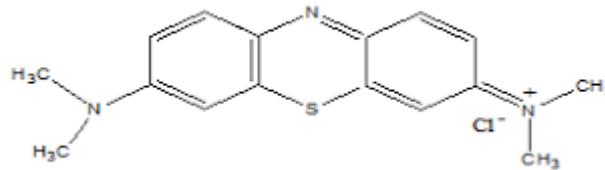
Saat ini umumnya *fly ash* batu bara digunakan dalam produksi semen sebagai salah satu campuran pembuat bahan beton. Selain itu *fly ash* dimanfaatkan pula sebagai bahan penggosok (*polisher*) *filler* aspal, refraktori, bahan baku keramik, bahan semen aditif serta adsorben dalam pengolahan limbah (Haryanti, 2015).

Pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben merupakan sebuah alternatif untuk menciptakan adsorben yang berbiaya rendah. Namun terlebih dahulu *fly ash* murni perlu diolah menjadi zeolit. Kandungan karbon yang rendah dan alumina-silika yang tinggi menjadikan *fly ash* berpotensi untuk dikonversi menjadi zeolit. Sifat zeolit yang nantinya dihasilkan akan bergantung dari metode konversi dan komposisi awal dari *fly ash* tersebut. Metode konversi yang banyak digunakan ialah memanaskan *fly ash* dengan campuran larutan alkali seperti KOH dan NaOH. Metode tersebut disebut metode *hydrothermal alkali treatment* (Querol dkk, 2002).

Zeolit hasil konversi dari bahan *fly ash* merupakan satu alternatif yang cukup potensial menambah nilai guna dari *fly ash*. Karbon yang terkandung dalam *fly ash* memiliki kualitas setara karbon aktif. Dibandingkan *fly ash* murni, zeolit mempunyai kapasitas adsorpsi yang jauh lebih besar. Untuk itu zeolit hasil konversi dari *fly ash* merupakan alternatif yang cukup potensial di masa depan (Querol dkk, 2002).

2.2 Methylene Blue (Biru Metilen)

Metiltionium klorida atau *methylene blue* yang memiliki rumus molekul $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$, akan berbentuk kristal berwarna hijau gelap apabila dimurnikan. Senyawa ini merupakan senyawa yang stabil dalam udara, tidak berbau, serta larut dalam klorofom, zat cair dan alkohol. *Methylene blue* akan berwarna biru tua ketika dilarutkan dalam air. Zat ini memiliki berat molekul senilai 319,85 g/mol (Scarlat dan Niculescu, 2003).



Gambar 2.1 – Struktur Kimiawi Methylene Blue

Sumber : Scarlat dan Niculescu, 2003

2.3 Umbi Suweg (*Amorphophallus campanulatus*)

Umbi suweg yang memiliki nama ilmiah *Amorphophallus campanulatus* merupakan jenis tanaman yang dapat tumbuh diantara naungan tanaman lainnya. Suweg umumnya umbinya dapat dipanen di akhir tahun pada musim kemarau dan bertunas di awal musim kemarau. Tanaman ini merupakan tanaman yang tumbuh di daerah lembab dan cenderung terlindung dari sinar matahari. Tanaman ini memiliki habitat dengan tanah yang netral atau cenderung asam. Ketinggian yang optimal sebagai tempat hidup untuk tanaman suweg adalah di dataran rendah hingga ketinggian 800 meter dpl (Kasno, 2009). Umbi dari tanaman ini sering dimanfaatkan menjadi bahan makan setengah jadi yaitu tepung. Tepung hasil olahan umbi suweg berpotensi dimanfaatkan menjadi berbagai produk olahan turunan lain seperti mie, roti, biskuit, dan lain sebagainya. Umbi suweg memiliki kandungan amilosa sebesar 24,5% (Richana dan Sunarti, 2004).

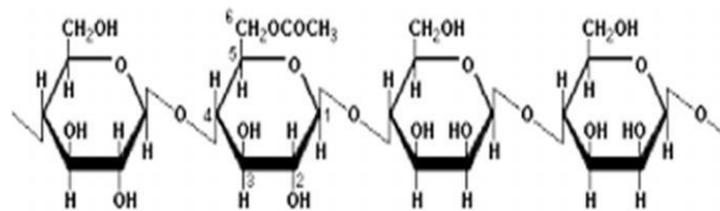
Olahan tepung suweg memiliki warna putih kecokelatan juga memiliki nilai indeks glikemik (IG) rendah sehingga membuat tepung ini menjadi satu dari alternatif pilihan bahan pangan fungsional. Tepung suweg memiliki aroma khas serta tidak seperti pati lain terlalu banyak gluten. Kandungan yang paling banyak terdapat pada umbi ini adalah karbohidrat sebesar 80-85%. Tepung dari umbi ini merupakan tepung yang dapat diolah menjadi bahan baku pangan maupun non pangan serta memiliki daya tahan simpan yang cukup lama (Kasno, 2009).

Umbi suweg merupakan tanaman yang mengandung pati tinggi namun di lingkungan masyarakat Indonesia tidak menjadi tanaman pangan alternatif. Suweg

memiliki kandungan polisakarida yang memungkinkannya dapat dijadikan bahan baku adsorben alami penyerap limbah karena glukomannannya memiliki ikatan hidroksil yang kuat dan mampu menyerap kation (Lestari dkk, 2016).

2.3.1. Glukomannan / Glikomannan

Glukomannan termasuk polisakarida yang tersusun oleh satuan-satuan D-glukosa dan D-mannosa. Senyawa glukomannan sendiri banyak terdapat pada umbi-umbian keluarga *Amorphophallus sp.*, termasuk pada jenis *Amorphophallus campunalatus* (Ohtsuki, 1968).



Gambar 2.2 – Struktur Kimiawi Glukomannan Suweg

Sumber : Ohtsuki, 1968

Salah satu sifat istimewa glukomannan adalah mampu mengembang hingga 200% dalam waktu yang cepat di dalam air sedangkan pati bias hanya mampu mengembang 25%. Glukomannan akan membentuk massa yang bersifat kental apabila dilarutkan dalam air dingin. Pemanasan glukomannan pada tepung hingga menjadi gel akan membuat ‘mannan’ tidak dapat larut kembali di dalam air. Manfaat dan penerapan dari glukomannan banyak diarahkan untuk kepentingan industri yang umumnya dikelompokkan sebagai bahan pelekat (Ohtsuki, 1968).

Dalam umbi berglukomannan, kadar senyawa glukomannan bervariasi bergantung pada jenis tanaman, umur tanaman, dan metode pengolahan ekstraksi umbi. Polimer glukomannan memiliki sifat yang dapat membentuk serat-serat halus dari pengkristalannya. Kegunaan glukomannan dewasa ini difungsikan untuk penstabil emulsi dan edible film. Sedangkan berdasarkan struktur kimianya, glukomannan mirip dengan selulosa yang memungkinkannya digunakan sebagai bahan peledak, bahan pembuat seluloid, bahan pangan, bahan kosmetik, serta

bahan isolasi listrik. Disamping manfaat pada bidang industri, masyarakat Jepang selama beberapa zaman telah memanfaatkan glukomannan sebagai makanan kegemaran yang bermanfaat positif untuk kesehatan tubuh, khususnya penderita diabetes, yaitu sebagai bahan makanan yang dikenal dengan *konyaku*, *shirataki* dan koktail. (Ohtsuki, 1968).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana substansi pada suatu larutan mengumpul ke permukaan zat atau benda penyerap dan terjadi suatu ikatan kimia atau fisika antara substansi tersebut dengan zat penyerap. Molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair yang memiliki gaya tarik tidak dalam keadaan setimbang yang menyebabkan terjadinya fenomena adsorpsi. Gaya tarik menarik tersebut cenderung ke arah dalam atau gaya gaya kohesi adsorben yang lebih besar dibanding gaya adhesinya. Zat padat yang digunakan sebagai adsorben cenderung menarik zat-zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya merupakan salah satu dari akibat ketidakseimbangan gaya tarik tersebut (Alberty dan Daniels, 2012).

Sedangkan menurut Worch (2012), adsorpsi adalah proses transfer fase yang banyak digunakan dalam praktik pengolahan untuk menghilangkan zat dari fase fluida (gas atau cairan). Adsorpsi merupakan proses alami pada kopartemen lingkungan yang berbeda. Pengertian paling umum dari adsorpsi, adsorpsi adalah pengayaan spesies kimia dari fase fluida pada permukaan cairan atau padatan.

2.4.1 Adsorben

Dalam pengolahan air, adsorpsi telah terbukti sebagai proses pelepasan yang efisien untuk multiplitas zat terlarut. Molekul atau ion yang ada dalam larutan diambil dengan jalan diadsorpsi ke permukaan padat. Permukaan padat dicirikan oleh situs aktif dan kaya energi yang mampu berinteraksi dengan zat

terlarut dalam fase berair yang berdekatan karena kemampuan elektrostatisnya. Umumnya, situs aktif memiliki energi yang berbeda pada satu bagian adsorben dan bagian adsorben lainnya karena permukaannya yang sangat heterogen. Bahan padat yang menyediakan situs untuk adsorpsi tersebut disebut sebagai adsorben (Worch, 2012).

Karena adsorpsi merupakan proses permukaan, maka luas permukaan menjadi parameter kualitas utama dari sebuah adsorben. Adsorben hasil rekayasa umumnya sangat berpori dengan luas permukaan berkisar 102 hingga 103 m²/g. Porositas yang besar dari suatu adsorben memungkinkan mewujudkan luas permukaan yang besar pula akibat adanya permukaan internal yang dibentuk oleh dinding pori-porinya (Worch, 2012).

Secara garis besar ada dua jenis adsorben, yaitu adsorben natural dan juga adsorben hasil rekayasa. Adsorben natural umumnya juga digunakan sebagai adsorben berbiaya rendah. Salah satu contoh adsorben alamiah yang sudah sering digunakan adalah lempung. Sedangkan adsorben hasil rekayasa produknya dapat dibedakan lagi berdasarkan bahan dan cara pengolahannya. Adapun macam-macam adsorben hasil rekayasa antara lain adalah zeolit sintetis, adsorben teroksidasi, adsorben polimer, serta karbon teraktivasi (Worch, 2012).

2.4.2 Aktivasi

Proses aktivasi pada konteks adsorpsi memiliki fungsi untuk memperluas permukaan untuk meningkatkan kemampuan adsorben sebagai adsorpsi. Prosedur aktivasi dapat dilakukan salahsatunya adalah dengan larutan NaOH (*alkaline hydrothermal*) atau dengan leburan NaOH (Ashadi dkk, 2015).

2.4.3 Klasifikasi Adsorpsi

Adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan interaksi molekular antar situs permukaan adsorbat dan adsorben (Ashadi dkk, 2015). Adapun kedua jenis tersebut adalah :

a. Adsorpsi Fisis

Adsorpsi jenis ini berjalan akibat adanya gaya *Van Der Waals* atau gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara situs adsorben dan adsorbat. Adsorpsi jenis ini berlangsung ketika suatu adsorbat dialirkan pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi ini adsorbat tidak terikat kuat di situs adsorbat. Akibatnya adsorbat dapat bergerak dari satu bagian situs adsorben ke situs lainnya, dan situs yang ditinggalkan dapat dimasuki adsorbat lain. Adsorpsi fisik bersifat reversibel, dengan demikian jika kondisi operasinya diubah akan membentuk kesetimbangan yang baru. Adsorpsi yang terjadi mengeluarkan energi panas sesuai dengan prinsip *Le Chatelier*. Panas yang dihasilkan akibat proses adsorpsi disebut panas adsorpsi (Ashadi dkk, 2015).

b. Adsorpsi Kimiawi

Adsorpsi jenis ini merupakan adsorpsi yang berjalan akibat dari terbentuknya ikatan ion dan kovalen antar situs adsorben dan molekul-molekul adsorbat. Lapisan yang terbentuk adalah lapisan *mono-layer* akibat dari ikatan yang kuat dari interaksi adsorbat dan adsorben (Ashadi dkk, 2015).

2.4.4 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah :

a) Luas Permukaan

Semakin luas permukaan adsorben, maka zat yang teradsorpsi akan semakin banyak pula. Ukuran partikel dan jumlah adsorben menentukan luas permukaan total dari adsorben tersebut (Syauqiah dkk, 2011).

b) pH Larutan

Kelarutan ion logam dipengaruhi oleh pH larutan (Syauqiah dkk, 2011). Kemampuan adsorpsi akan menurun pada keadaan asam. Rendahnya adsorpsi pada pH rendah diakibatkan oleh banyaknya ion H^+ yang berebut situs adsorpsi pada permukaan adsorben dengan kation (Nasuha dkk, 2010).

c) Temperatur

Peningkatan daya serap adsorben dengan cara pemanasan menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. Namun pemanasan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada adsorben dan menurunkan kemampuannya (Syauqiah dkk, 2011).

d) Jenis Adsorbat

Kemampuan adsorpsi akan meningkat dengan ditingkatkannya polarisabilitas adsorbat. Molekul dengan polarisabilitas tinggi akan berkemampuan tarik-menarik dengan molekul lain dibanding molekul yang tidak dapat membentuk dipol (Syauqiah dkk, 2011).

e) Konsentrasi Adsorbat

Ketika adsorbat memiliki konsentrasi yang semakin besar dalam larutan, maka semakin banyak pula jumlah adsorbat yang akan terikat pada permukaan adsorben (Syauqiah dkk, 2011).

f) Waktu Kontak

Pada saat waktu kesetimbangan terjadi kapasitas adsorpsi dari adsorben yang maksimum, maka dari itu penentuan waktu kontak diperlukan untuk mendapatkan kapasitas adsorpsi maksimum (Syauqiah dkk, 2011).

g) Kecepatan Pengadukan

Pengadukan dengan kecepatan lambat akan mengakibatkan proses adsorpsi berjalan lambat pula. Namun apabila kecepatan terlalu cepat kemungkinan struktur adsorben dapat cepat rusak sehingga proses adsorpsi kurang optimal (Syauqiah dkk, 2011).

h) Struktur Molekul Adsorbat

Amino serta hidroksil dapat mereduksi kemampuan removal, sedangkan nitrogen mampu menambah kemampuan removal (Syauqiah dkk, 2011).

i) Waktu Kesetimbangan

Beberapa hal mempengaruhi waktu kesetimbangan, antara lain tipe adsorben, ukuran dan fisiologi adsorben, ion yang terlibat dalam sistem adsorpsi, serta konsentrasi ion logam (Syauqiah dkk, 2011).

2.4.5 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi pada sistem cair menyatakan adsorbat serta adsorben yang terjadi pada suhu konstan. Distribusi larutan antara fase cair dan fase padat terjadi pada kondisi setimbangan. Biasanya jumlah material terserap per satuan berat dari adsorben meningkat dengan ditambahkannya konsentrasi meskipun hal tersebut tidak selalu berbanding lurus (Ashadi dkk, 2015).

Terdapat 4 (empat) model isoterm adsorpsi yang umum dikenal di dunia adsorpsi. Dari keempat model isoterm yang ada, terdapat dua model yang paling umum digunakan yaitu model Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich.

1. Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir mengasumsikan adsorpsi pada adsorben berlangsung *mono-layer* dan adsorbat menempel homogen pada seluruh permukaan adsorben. Dimana jumlah adsorbat yang dapat menempel terbatas pada masing-masing situs adsorpsi serta tanpa adanya

transmigrasi dari adsorbat ketika sudah menempel pada permukaan adsorben (Nasuha dkk, 2011). Berikut merupakan persamaan model Langmuir yang digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum (Cho dkk, 2015):

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K_L \cdot Q_m} \cdot \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- Q_e : Kapasitas adsorpsi dari adsorben saat kesetimbangan (mg/g)
- C_e : Konsentrasi *methylene blue* setelah saat kesetimbangan (mg/L)
- Q_m : Kapasitas adsorpsi maksimum adsorben (mg/g)
- K_L : Parameter afinitas atau konstanta Langmuir

Konstanta-konstanta tersebut dapat dicari dengan melihat nilai *slope* dan intersep dari persamaan linear plot data 1/C_e dibandingkan 1/Q_e.

2. Isoterm Freundlich

Pendekatan isoterm Freundlich dijelaskan oleh H. Freundlich. Persamaan linear dari isoterm ini mengasumsikan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen sehingga distribusi penempelan adsorbat pada satu situs dan lainnya berbeda-beda. Freundlich menurunkan persamaan (2) dan (3) sebagai berikut (Handayani dan Sulistyono, 2009):

$$Q_e = K_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \dots \dots \dots (2)$$

$$Q_e = \frac{1}{n} \cdot \text{Log } C_e + \text{Log } K_F \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

- Q_e : Kapasitas adsorpsi dari adsorben saat kesetimbangan (mg/g)
- C_e : Konsentrasi *methylene blue* setelah saat

kesetimbangan (mg/L)

n : Konstanta intensitas adsorpsi

K_F : Parameter afinitas atau konstanta Freundlich

Penentuan model adsorpsi yang mendekati sistem dilakukan dengan melihat nilai R^2 dari kurva Langmuir dan Freundlich yang telah diplot (Nasuhadkk, 2010).

2.4.6 Aplikasi Adsorpsi

Proses adsorpsi banyak digunakan dalam pengolahan air. Zat organik serta ion organik dapat disingkirkan dari fase cair dengan adsorpsi bergantung pada jenis adsorben. Jenis karbon aktif adalah adsorben hasil rekayasa yang saat ini paling banyak digunakan dalam pengolahan air. Karbon aktif banyak digunakan untuk menghilangkan zat organik dari berbagai jenis air seperti air minum, air limbah, air tanah, lindi TPA, kolam renang air, hingga air akuarium. Adsorben jenis lain kurang umum diterapkan dalam pengolahan-pengolahan air tersebut (Worch, 2012).

a. Pengolahan Air Minum

Selama hampir 100 tahun, proses adsorpsi dengan karbon aktif telah digunakan dalam pengolahan air minum untuk menghilangkan zat terlarut organik. Penerapan karbon aktif sangat efektif dalam menghilangkan senyawa rasa dan bau yang merupakan zat terlarut organik sebagai polutan utama. Karena bahan organik alami (NOM) hadir di semua perairan baku, sehingga peran proses adsorpsi sangat vital kegunaannya dalam mengolah air. Di sisi lain, penghapusan NOM juga memiliki aspek positif, NOM dikenal sebagai prekursor pembentukan produk samping desinfeksi (DBPs) selama desinfeksi akhir dengan klorin. Maka dari itu pengangkatan NOM selama proses adsorpsi membantu mengurangi pembentukan DBPs (Worch, 2012).

b. Pengolahan Air Limbah

Proses pengolahan air limbah konvensional meliputi pengolahan secara mekanikal dan pengolahan secara biologis (pengolahan primer dan sekunder). Guna lebih meningkatkan kualitas efluen dan melindungi lingkungan reseptor efluen, seringkali pengolahan tersier dimasukkan dalam sistem pengolahan yang diterapkan dalam IPAL. Tujuan utama dari pengolahan tersier menghilangkan nutrisi, yang menjadi penyebab eutrofikasi pada danau dan sungai. Guna menghilangkan fosfat berlebih, adsorpsi fosfat pada adsorban besi hidroksida atau aluminium oksida menjadi jalan keluar untuk mengurangi potensi eutrofikasi. Selain itu adsorpsi memungkinkan untuk fosfat dapat digunakan kembali karena fosfat merupakan bahan baku yang cukup berharga (Worch, 2012).

Dalam pengolahan air limbah industri, proses adsorpsi juga sangat menarik sebagai alternatif, khususnya untuk meremoval atau daur ulang zat organik. Jika tujuan pengolahan hanya menghilangkan zat organik dari air limbah, karbon aktif adalah adsorben yang tepat. Di sisi lain, jika fokus lebih pada daur ulang bahan kimia berharga, adsorben alternatif seperti adsorben hasil rekayasa dapat menjadi pertimbangan (Worch, 2012).