

**SISTEM PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG PADA *WATER POND* DAN  
APLIKASI MODEL *ENCAPSULATION IN-PIT DISPOSAL* PADA *WASTE  
DUMP* TAMBANG BATUBARA**

***Acid Mine Drainage Treatment System in Water Pond and  
Application of Encapsulation In-Pit Disposal Model in Waste Dump Coal Mine***

**R. Andy Erwin Wijaya**

Staf Pengajar Program Studi Teknik Pertambangan, STTNAS Yogyakarta

E-mail: andy\_sttnas@yahoo.com

Diterima: 7 Juli 2009

Disetujui: 22 Juli 2009

**Abstrak**

Kegiatan pertambangan batubara umumnya dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan di lokasi penambangan. Salah satu dampak negatif yang signifikan adalah terjadinya pencemaran air asam tambang yang dapat merusak fungsi lingkungan seperti komponen air dan tanah. Umumnya lokasi tambang batubara yang berpotensi besar sebagai sumber terbentuknya air asam tambang adalah kolam penampungan air tambang (*water pond*) dan tempat penimbunan material buangan sulfida (*waste dump*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan rembesan air asam tambang yang berasal dari kolam penampungan air (*water pond*) dan mengurangi terbentuknya air asam tambang pada tempat penimbunan material buangan sulfida (*waste dump*).

Sistem pengendalian pencemaran air asam tambang meliputi pengolahan air asam tambang (*water pond*) dan pengelolaan material sulfida (*waste dump*). Metode pengolahan air asam tambang adalah menetralkan air asam dengan reagen alkali. Reagen alkali yang paling efektif dan ekonomis adalah batugamping (kalsium karbonat). Jumlah batugamping yang dibutuhkan untuk menetralkan air asam tambang pada *water pond* (5040 m<sup>3</sup>) sebesar 104,56 kg. Pengelolaan material buangan sulfida (*waste dump*) adalah menerapkan model *encapsulation in-pit disposal*. Hal ini sangat efektif untuk mencegah terbentuknya air asam tambang. Material pelapisan yang digunakan adalah lempung (*clay*), karena mempunyai nilai permeabilitas yang sangat kecil yaitu sebesar  $2,3148 \times 10^{-9}$  m/det dan ketersediaannya mencukupi.

Kata Kunci: air asam tambang, kolam penampungan, tempat penimbunan

**Abstract**

*Coal mining activity generally can generate negative impact to environment on mining location. One of the negative impact is contamination of acid mine drainage which able to destroy environment and ecosystem as water and soil. High potency source of acid mine drainage formed on coal mining location are water pond and waste dump.*

*This aim of the research are control of acid mine drainage from water pond and prevention of acid mine drainage formed on the waste dump.*

*The control system of acid mine drainage contamination included treatment of acid mine drainage into water pond and management of oxide/benign waste on the waste dump. Treatment method is neutralization of acid mine drainage into water pond using alkali reagent. The most effective and economic alkali reagent is limestone. Amount of limestone needed to neutralize of acid mine drainage (5040 m<sup>3</sup>) into water pond is 104.56 kg. The management of oxide/benign waste is application of encapsulation in-pit disposal model. This model is more effective to prevent acid mine*

*drainage formed. Cover materials are often clay subsoils and have been used for covering to prevent oxidation. The clay have high compaction rates and low permeability ( $2.3148 \times 10^{-9}$  m/s) and this material is sufficient availability.*

*Keyword: acid mine drainage, water pond, waste dump*

## PENDAHULUAN

Air Asam Tambang atau *Acid Mine Drainage (AMD)* merupakan air yang bersifat asam (pH=3-4) dan terbentuk akibat adanya kegiatan pertambangan, proses pembentukan dipengaruhi oleh air, oksigen dan batuan yang mengandung mineral sulfida serta mengandung logam berat terlarut yang berasal dari batuan yang berada di lokasi penambangan. Air asam tambang pada lingkungan pertambangan batubara mempunyai karakteristik pH yang rendah sekitar 3 dan kadar sulfat yang tinggi serta mengandung logam berat (besi).

Mineral – mineral sulfida yang berpotensi menimbulkan air asam tambang tersebut dapat dilihat pada tabel 1 (Ferguson, Erickson, 1988).

**Tabel 1. Jenis Mineral Sulfida**

Jenis Mineral	Komposisi
<i>Pyrite</i>	$\text{Fe}_2\text{S}$
<i>Calcopirit</i>	$\text{CuFe}_2\text{S}$
<i>Sphalerite</i>	$\text{ZnS}$
<i>Galena</i>	$\text{PbS}$
<i>Millerite</i>	$\text{NiS}$
<i>Arsenopirite</i>	$\text{FeAsS}$
<i>Pyrrhotite</i>	$\text{FeO}_8\text{S}$

Batuan yang mengandung mineral sulfida dapat tersingkap di permukaan sebagai akibat pembukaan lahan atau pembongkaran batuan pada saat penambangan berlangsung. Mineral sulfida tersebut akan teroksidasi membentuk persenyawaan oksida dan apabila terjadi kontak dengan air (air hujan ataupun airtanah) akan membentuk besi (II) sulfat dan asam sulfat. Air yang bersifat asam tersebut bila tidak dinetralkan akan menyebabkan terjadinya aliran air asam tambang ke lingkungan sekitarnya dan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan.

Prinsip terjadinya air asam tambang adalah adanya reaksi pembentukan ion  $\text{H}^+$  yang merupakan ion pembentuk asam akibat adanya oksidasi mineral yang mengandung sulfida dan bereaksi dengan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Hasil oksidasi mineral sulfida yang telah mengalami pelarutan oleh air adalah asam sulfat dan pengendapan logam hidroksida. Prinsip tersebut bila dilihat secara kimia, sedangkan secara biologi terjadinya air asam tambang dipengaruhi akibat adanya bakteri-bakteri tertentu, seperti bakteri *thiobacillus ferrooxidans* yang sanggup untuk mempercepat proses (katalisator) oksidasi mineral sulfida dan oksidasi besi dan bakteri *thiobacillus thiooxidans* untuk mempercepat proses (katalisator) oksidasi mineral sulfida dan oksidasi belerang. Pada umumnya air asam tambang yang terbentuk adalah asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) yang merupakan asam kuat. Air asam tambang ini dapat dikenal dari warna jingga atau merah dari endapan besi hidroksida (ferrihidroksida) di dasar aliran atau bau belerang, tetapi hal ini tidak selalu terjadi. Air asam tambang dapat juga berwarna hijau kebiruan karena mengandung tembaga yang cukup tinggi.

Proses fisik, kimia dan biologi merupakan faktor penyebab terjadinya air asam tambang. Faktor – faktor tersebut dapat bervariasi di berbagai tempat. Faktor – faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga faktor, yaitu primer, sekunder dan tersier. Faktor primer berperan langsung terhadap pembentukan oksida mineral sulfida yang merupakan komponen – komponen pembentuk air asam. Faktor sekunder berperan dalam mengkonsumsi oksida mineral sulfida yang berfungsi sebagai penetral. Faktor tersier adalah kondisi lingkungan fisik yang dapat mempengaruhi terbentuknya oksidasi mineral sulfida seperti kondisi fisik material, keadaan topografi daerah penambangan dan iklim.

Air asam tambang dapat terjadi pada kegiatan penggalian/ penambangan baik itu pada tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Selain itu dapat juga berasal dari kegiatan penimbunan material dan kegiatan pengolahan bahan galian.

Kegiatan penambangan batubara umumnya dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan di lokasi penambangan dan daerah sekitarnya. Salah satu dampak negatif yang signifikan adalah terjadinya pencemaran air asam tambang yang dapat mengakibatkan penurunan terhadap nilai fungsi lingkungan dan bahkan merusak fungsi lingkungan hidup dan ekosistem sekitarnya seperti komponen air dan tanah (Down, dan Stocks, 1978). Pada umumnya lokasi tambang batubara yang berpotensi besar sebagai sumber terbentuknya air asam tambang adalah kolam – kolam penampungan air tambang (*water pond*) dan tempat penimbunan material buangan sulfida (*waste dump*). Apabila air asam dalam jumlah besar yang berasal dari *water pond* dan *waste dump* tersebut mengalir/merembes ke lingkungan sungai, maka berpotensi besar mencemari air sungai. Akumulasi air asam dari beberapa *water ponds* dan *waste dump* pada satu daerah aliran sungai (DAS) dapat mencemari daerah yang lebih luas pada bagian hilirnya. Air asam tambang yang merembes ke dalam tanah akan mengakibatkan hilangnya kesuburan tanah dan kematian pada tanaman. Air asam tambang yang merembes ke dalam pori – pori tanah sampai pada muka air tanah dapat menimbulkan dampak yang serius pada air tanah terutama pada akuifer. Dalam rangka memperkecil risiko terjadinya pencemaran lingkungan akibat air asam tambang, maka perlu dilakukan analisis sistem pengendalian pencemaran air asam tambang khususnya pada *water pond* dan *waste dump*.

Permasalahan ini disebabkan oleh adanya rembesan/kebocoran air asam tambang dalam jumlah besar yang berasal dari kolam – kolam penampungan air tambang (*water pond*). Apa penyebab rembesan/ kebocoran air asam tambang tersebut dan bagaimana cara

pengendaliannya merupakan masalah yang harus diatasi. Masalah juga terdapat pada tempat penimbunan material buangan (*waste dump*) yaitu terjadinya proses oksidasi terhadap mineral sulfida yang mengakibatkan lapisan tanah sekitarnya menjadi asam dan tidak subur. Apabila lapisan ini terkena air hujan, maka akan terjadi aliran air asam.

Penelitian ini pada dasarnya bertujuan untuk mengendalikan rembesan air asam tambang yang berasal dari kolam penampungan air tambang (*water pond*) dan mengurangi terbentuknya air asam tambang pada tempat penimbunan material buangan sulfida (*waste dump*).

## METODOLOGI

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan analisis data sebagai berikut:

- Analisis terhadap penentuan jenis *soil cover* dan metode yang digunakan untuk bahan isolasi yang sesuai dengan kondisi *waste dump* di lokasi penelitian.
- Analisis perhitungan volume air pada *water pond*
- Analisis faktor penyebab rembesan air dari *water pond*
- Analisis terhadap penentuan jenis reagen alkali yang digunakan untuk penetralan air asam tambang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa hasil pengukuran air permukaan dan air asam tambang dilakukan sebanyak 4 sampel. Pengukuran pH air permukaan dilakukan di sepanjang saluran terbuka (selokan yang menghubungkan *water pond* dan sungai) di sekitar daerah penambangan batubara (di luar *pit* penambangan), sedangkan untuk pengukuran air asam tambang dilakukan di kolam penampungan (*water pond*) (gambar 1).



**Gambar. 1. Water Pond**

Air asam yang terbentuk berwarna jingga atau merah, ini menunjukkan adanya mineral *pyrite* yang dicirikan adanya endapan besi hidroksida (ferrihidroksida) di dasar aliran dan berbau belerang. Warna jingga menunjukkan kandungan Fe yang tinggi. Air lindian pada timbunan tanah penutup (gambar 2).



**Gambar. 2. Air Lindian pada Timbunan Tanah Penutup**

Parameter yang dianalisis pada uji kualitas air permukaan dan air asam tambang adalah pH dengan menggunakan alat pH Meter. Hasil uji kualitas air permukaan dan air asam

tambang diperoleh: air permukaan (saluran terbuka) dan air asam tambang (*water pond*) mempunyai pH rendah sekitar 3 (asam). Hasil uji keasaman air tambang selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

**Tabel 12. pH Air Asam Tambang (sebelum penetralan)**

Lokasi Sampel	pH
ST-1	3,05
ST-2	3,01
WP-1	3,00
WP-2	3,00

**Tabel 3. pH Air Asam Tambang (setelah penetralan)**

Lokasi Sampel	pH
ST-1	7,46
ST-2	7,44
WP-1	7,00
WP-2	7,41

Keterangan: ST (saluran terbuka) dan WP (*water pond*)

Pengukuran volume air asam tambang yang terbentuk pada *water pond* dengan menggunakan alat ukur meteran dan kompas geologi untuk mengukur kemiringan. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, diperoleh dimensi *water pond* panjang: 60 meter, lebar: 25 meter, kedalaman air: 5 meter dan kemiringan dinding: 60°. Analisis perhitungan volume air asam tambang dilakukan dengan menggunakan *software minescape* (gambar 3 dan 4). Volume air asam tambang yang terbentuk sebesar 5.040 m<sup>3</sup>.

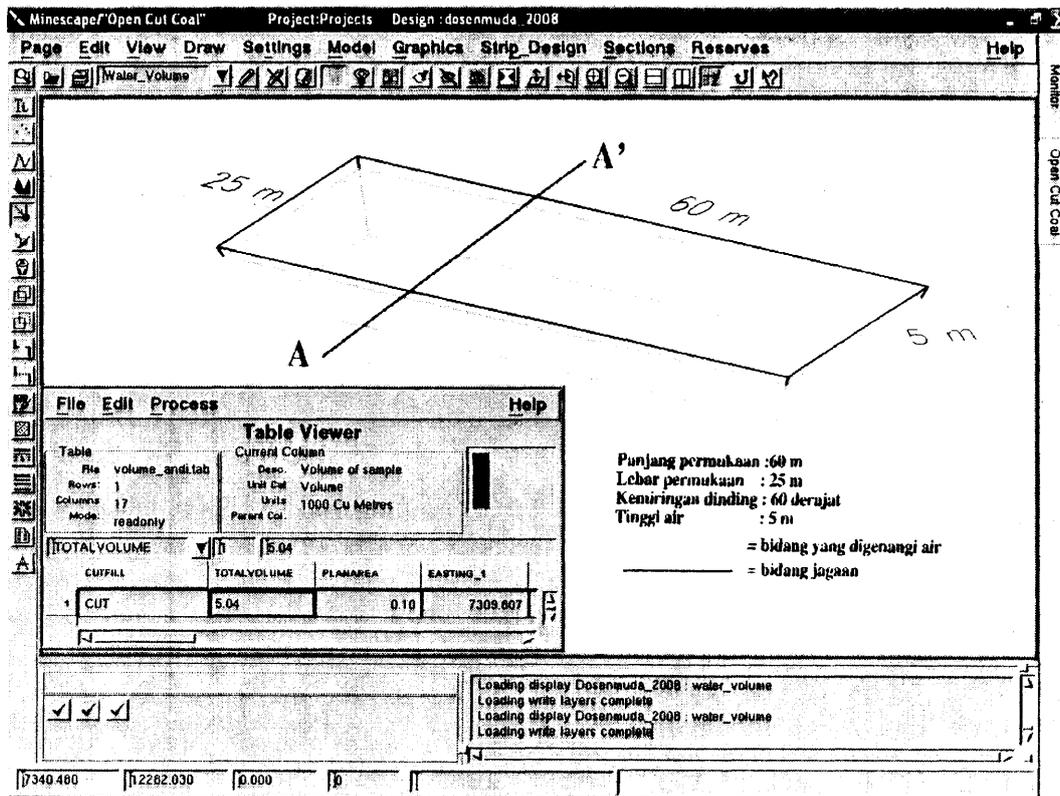
Faktor – faktor penyebab rembesan air asam tambang yang berasal dari kolam penampungan air tambang (*water pond*) adalah sebagai berikut:

- Dasar dan dinding kolam penampungan air tambang (*water pond*) sebagian terdiri dari material pasir dan tidak dilapisi dengan material tanah yang

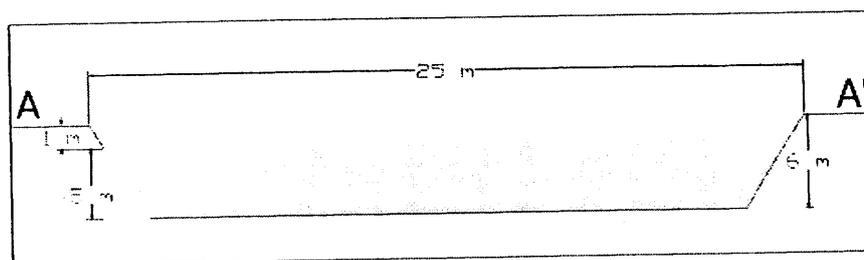
- mempunyai sifat impermeabilitas tinggi seperti lempung (*clay*).
- b. Volume kolam penampungan air tambang (*water pond*) tidak mencukupi, sehingga air asam keluar sebelum dinetralkan dari *water ponds* pada saat musim hujan.
- c. Saluran pembuangan pada kolam penampungan tidak lancar, sehingga terjadi akumulasi air asam tambang.

Air asam tambang terbentuk di dalam *pit* penambangan mempunyai pH yang berkisar antara 3,00 sampai 3,05 (tabel 2). pH air tambang yang cukup rendah (asam) ini dapat mengakibatkan dampak negatif yang signifikan terhadap komponen – komponen lingkungan di daerah penelitian dan sekitar-

nya. Air asam tambang ini harus diolah hingga tidak melebihi batas baku mutu lingkungan untuk kualitas air. Untuk mengolah air asam tambang yang terbentuk, metode yang digunakan adalah dengan cara penetralisasi dengan reagen alkali. Reagen alkali yang digunakan adalah batugamping (kalsium karbonat). Batugamping (kalsium karbonat) digunakan sebagai reagen alkali karena ketersediaannya mencukupi dan termasuk zat yang reaktif terhadap proses penetralan serta harganya terjangkau. Batugamping yang digunakan mempunyai syarat tertentu mengenai kualitas dan ukuran butir. Hal ini dimaksudkan agar proses penetralan dapat efektif.



Gambar 3. Volume Air Asam Pada *Water Pond*



Gambar 4. Sayatan A-A' Water Pond

Hasil perhitungan jumlah kebutuhan batugamping (kalsium karbonat) yang dibutuhkan untuk menetralkan air asam tambang yang terbentuk di *water pond* (5.040 m<sup>3</sup>) adalah sebesar 104,56 kg. Penggunaan batugamping ini sebagai bahan penetral sangat baik untuk menurunkan tingkat keasaman air, sehingga pH air menjadi netral (tabel 3).

Tingkat keberhasilan penetralan air asam tambang di daerah penelitian dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Ukuran serbuk batugamping  
Semakin kecil ukuran serbuk batugamping maka luas permukaan sentuh antara serbuk batugamping dengan air semakin besar. Ukuran serbuk batugamping yang baik untuk kegiatan penetralan terhadap air asam tambang berdasarkan teori adalah – 325 *mesh*. Dari data yang didapatkan ukuran serbuk batugamping yang digunakan pada proses penetralan adalah – 100 *mesh*.
- b. Kandungan CaO  
Semakin tinggi kandungan CaO semakin reaktif proses reaksinya, sehingga reaksi penetralan dapat berjalan sempurna. Kandungan CaO pada serbuk batugamping yang digunakan pada proses penetralan di daerah penelitian sebesar 55,11%.
- c. Proses penetralan  
Penetralan terhadap air asam tambang harus dilakukan secara merata, sehingga reaksinya dapat berjalan baik dan merata. Caranya adalah dengan menempatkan pipa yang digunakan untuk mengeluarkan air yang telah bercampur dengan serbuk

batugamping tidak hanya pada satu titik saja, tetapi dapat berpindah – pindah ke beberapa titik untuk setiap kolam atau cekungan.

Pada lokasi penelitian terdapat material – material buangan yang banyak mengandung mineral *pyrite*. Material – material tersebut sangat berpotensi terhadap pembentukan air asam, terutama pada saat musim hujan. *Pit* penambangan dapat menyebabkan terjadinya akumulasi air pada daerah yang banyak mengandung mineral *pyrite*, sehingga sangat berpotensi terhadap pembentukan air asam yang dapat mencemari lingkungan sekitarnya. Pencegahan terbentuknya air asam tambang secara efektif dapat dilakukan pemisahan/ isolasi terhadap material yang mengandung mineral *pyrite* dengan menerapkan model *encapsulation in-pit disposal* (Marzalek, 1996) dan menerapkan sistem penyaliran tambang yang baik.

*Pit* penambangan batubara di daerah Batulaki terdapat banyak material buangan yang mengandung mineral *pyrite* yang berupa timbunan – timbunan lapisan tanah penutup yang bercampur dengan lapisan batubara. *Pit* penambangan tersebut akan berpotensi menghasilkan akumulasi air asam tambang yang cukup besar apabila tidak dikelola dengan baik. Penerapan sistem pengelolaan mineral *pyrite* harus mempertimbangkan dan menyesuaikan dengan kondisi daerah penambangan dan daerah sekitarnya, seperti bentuk dan luas *pit* penambangan, topografi, jumlah dan luas serta bentuk material yang mengandung mineral *pyrite* dan ketersediaan material yang tidak berpotensi membentuk

asam yang berfungsi sebagai material per-lapisan.

Penerapan sistem pengelolaan mineral buangan sulfida yang digunakan sesuai dengan karakteristik daerah penelitian yang terdapat *pit* penambangan. Sistem ini adalah model *encapsulation in-pit disposal* dengan menggunakan *soil cover*. Model tersebut merupakan sistem pengelolaan penimbunan kembali (*back filling*) dengan cara pemisahan/isolasi terhadap material yang mengandung mineral *pyrite* ke dalam *pit* penambangan. Mineral lempung (*clay*) sering digunakan sebagai material perlapisan, karena mempunyai nilai permeabilitas yang sangat kecil yaitu sebesar  $2,3148 \times 10^{-9}$  m/det (tabel 4).

Di daerah penelitian, material perlapisan (*clay*) diperoleh dari lapisan tanah penutup (*overburden*) dengan ketebalan 4 m (gambar 5), sehingga ketersediaan mineral lempung tersebut mencukupi.

Secara umum langkah – langkah pengelolaan material yang mengandung mineral *pyrite* dengan menerapkan model *encapsulation in-pit disposal* adalah sebagai berikut:

- a. Membersihkan lubang – lubang bekas penambangan dari pencemaran seperti air asam tambang. Air asam yang terbentuk dinetralisasi terlebih dahulu dan setelah air netral kemudian dikeluarkan menuju aliran sungai terdekat.
- b. Melapisi material yang mengandung mineral *pyrite* dengan material lempung setebal 1 – 2 m secara menyeluruh dan merata. Kemudian material lempung tersebut dipadatkan dan dicek ulang sampai tidak terdapat lapisan yang berlubang. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi kebocoran yang dapat menyebabkan rembesan air dan teroksidasinya mineral *pyrite* oleh oksigen.
- c. Lapisan terakhir yang digunakan adalah tanah humus (*top soil*) yang diletakkan pada permukaan paling atas. Kegiatan ini bertujuan untuk mempersiapkan lahan untuk kegiatan revegetasi.



Gambar 5. Material Lempung (*Clay*)

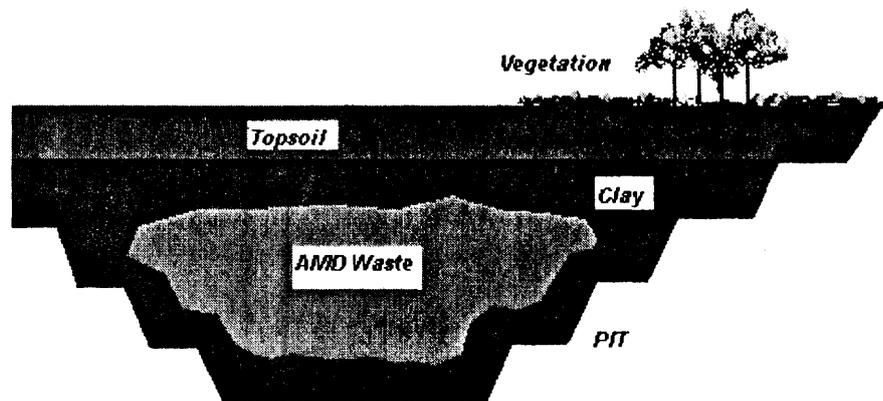
Sketsa mengenai penerapan pengelolaan mineral buangan sulfida yang menggunakan model *encapsulation in-pit disposal*, dapat dilihat pada gambar 6 dan sketsa *soil cover* pada gambar 7 (Wijaya, 2008).

Faktor – faktor yang mempengaruhi keberhasilan dari sistem *encapsulation* model *in-pit disposal* adalah sebagai berikut:

- a. Kandungan sulfida (*pyrite*)  
Semakin besar kandungan sulfida pada batuan/material, maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya reaksi oksidasi dengan oksigen dan air.
- b. Porositas  
Porositas dapat mempengaruhi kemungkinan masuknya air serta udara ke dalam lantai batuan/material yang mengandung mineral sulfida (*pyrite*). Semakin besar porositas maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya reaksi oksidasi.
- c. Luas permukaan kristal mineral sulfida (*pyrite*)  
Semakin luas permukaan kristal mineral sulfida (*pyrite*) yang tidak tertutupi, semakin besar pula kemungkinan terkena air dan udara.
- d. Kereaktifan dari kristal mineral sulfida (*pyrite*)  
Meskipun kristal mineral sulfida (*pyrite*) terkena udara dan air tetapi kereaktifan dari kristal *pyrite* sendiri berbeda. Kereaktifan ini mempengaruhi kecepatan dari reaksi oksidasinya.

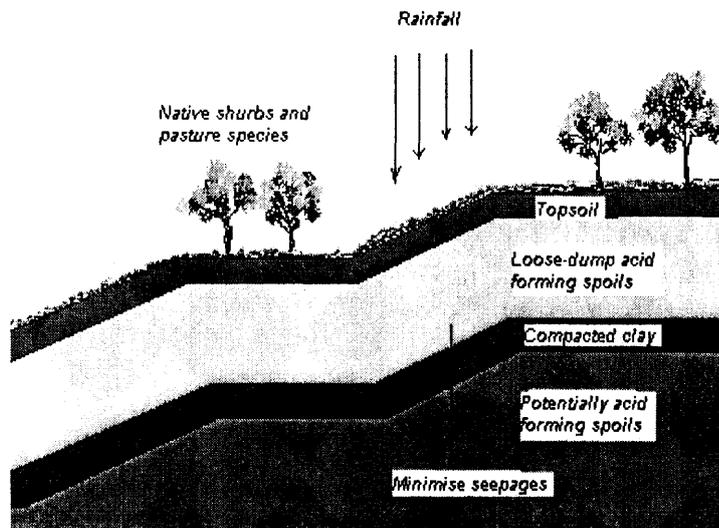
**Tabel 4. Nilai Konduktivitas Hidrolik Batuan (Todd, 1980)**

Jenis Material	Nilai - K	
	m/hari	m/detik
Kerakal (kasar)	150	$1,7361 \cdot 10^{-3}$
Kerakal (sedang)	270	$3,1250 \cdot 10^{-3}$
Kerakal (halus)	450	$5,2083 \cdot 10^{-3}$
Pasir (kasar)	45	$5,2083 \cdot 10^{-4}$
Pasir (sedang)	12	$1,3889 \cdot 10^{-4}$
Pasir (halus)	2,5	$2,8935 \cdot 10^{-5}$
Lanau	0,08	$9,2592 \cdot 10^{-7}$
<b>Lempung</b>	<b>0,0002</b>	<b><math>2,3148 \cdot 10^{-9}</math></b>
Batupasir (berbutir halus)	0,2	$2,3148 \cdot 10^{-6}$
Batupasir (berbutir sedang)	3,1	$3,5879 \cdot 10^{-5}$
Batugamping	0,94	$1,0879 \cdot 10^{-5}$
Dolomit	0,001	$1,1574 \cdot 10^{-8}$
Material lepas	0,08	$9,2592 \cdot 10^{-7}$
Peat	5,7	$6,5972 \cdot 10^{-5}$
Skis	0,2	$2,3148 \cdot 10^{-6}$
Batusabak ( <i>slate</i> )	0,00008	$9,2592 \cdot 10^{-10}$
Tufa	0,2	$2,3148 \cdot 10^{-6}$
Basalt	0,01	$1,1574 \cdot 10^{-7}$
Gabro (lapuk)	0,2	$2,3148 \cdot 10^{-6}$
Granit (lapuk)	1,4	$1,6204 \cdot 10^{-5}$



Keterangan :  
 Material pelapisan yang digunakan  
 adalah mineral lempung dengan  
 ketebalan 1-2 m yang dipadatkan

**Gambar 5. Sketsa Pengelolaan Mineral Buangan Sulfida yang Menggunakan Model *Encapsulation In-Pit Disposal***



Gambar 6. Sketsa Soil Cover

## KESIMPULAN

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis mineral sulfida yang terdapat di daerah penelitian adalah *pyrite* ( $\text{Fe}_2\text{S}$ ), hal ini ditunjukkan air asam tambang yang terbentuk berwarna jingga atau merah dan juga adanya endapan besi hidroksida (ferrihidroksida) di dasar kolam serta berbau belerang.
2. Pengujian aplikasi model *encapsulation in-pit disposal* telah berhasil dengan baik. Hal ini ditunjukkan adanya pemisahan yang signifikan terhadap tiga unsur pembentuk air asam tambang, yaitu: *pyrite*, oksigen dan air. Ketiga unsur tersebut dapat terpisah dengan menggunakan lempung (*clay*) sebagai *soil cover* yang mempunyai nilai permeabilitas yang sangat kecil yaitu sebesar  $2,3148 \times 10^{-9}$  m/det, sehingga tidak terjadi oksidasi mineral sulfida dan pelindihan air hujan pada *waste dump* tambang batubara.
3. Faktor penyebab rembesan air asam tambang yang berasal dari *water pond* adalah dasar dan dinding *water pond*

sebagian terdiri dari material pasir dan tidak dilapisi dengan material tanah yang mempunyai sifat impermeabilitas tinggi seperti lempung (*clay*), volume *water pond* tidak mencukupi, sehingga air asam keluar sebelum dinetralkan dari *water pond* pada saat musim hujan dan saluran pembuangan tidak lancar, sehingga terjadi akumulasi air asam tambang.

4. Reagen alkali yang paling efektif yang digunakan untuk menetralkan air asam tambang di *water pond* di daerah penelitian adalah batugamping (kalsium karbonat) karena ketersediaannya mencukupi dan termasuk zat yang reaktif terhadap proses penetralkan serta harganya terjangkau.

## DAFTAR PUSTAKA

- Down, C.G. dan Stocks, J., 1978, *Environmental Impacts of Mining*, Department of Mineral Resources Engineering, Royal School of Mines, Applied Science Publishers, London.
- Ferguson K. D. dan Erickson P. M., 1988, *Pre-Mine Prediction of Acid Mine Drainage*

- in Environmental Management of Solid Waste*, eds W. Salomons & U. Forstner, Springer – Verlag, Berlin.
- Marzalek, A. S., 1996, *Preventative and Remedial Environmental Engineering Measures to Control Acid Mine Drainage in Australia*, in Preprints of Papers, Engineering tomorrow today, The Darwin Summit, National Engineering Conference, Darwin, Northern Territory, 21 – 24 April 1996, The Institute of Engineers Australia, Barton ACT 2600 Australia.
- Todd, D. K., 1980, *Groundwater Hydrology*, McGraw Hill Book Co, New York.
- Wijaya, A., E., 2008, *Rekayasa Sistem Pengendalian Air Asam Tambang pada Waste Dump dan Water Pond Tambang Batu-bara*, Laporan Penelitian Dosen Muda dibiayai oleh Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.