

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/336133190>

# KAJIAN PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE AEROBIC WETLAND DAN PENGARUHNYA TERHADAP BAKU MUTU AIR PADA SITE LATI PT. BERAU COAL

Thesis · August 2014

DOI: 10.13140/RG.2.2.28016.40960/1

---

CITATION

1

READS

5,863

1 author:



Reza Aryanto

Trisakti University

42 PUBLICATIONS 55 CITATIONS

SEE PROFILE

# KAJIAN PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE *AEROBIC WETLAND* DAN PENGARUHNYA TERHADAP BAKU MUTU AIR PADA SITE LATI PT BERAU COAL

Reza Aryanto  
(Teknik Pertambangan Universitas Trisakti)

## ABSTRAK

Limbah air asam tambang merupakan permasalahan lingkungan yang dihadapi oleh dunia pertambangan di Indonesia. Permasalahan air asam tambang pada penelitian adalah mencari alternatif untuk mengelola air asam tambang tersebut dengan menggunakan *passive treatment* sehingga tidak lagi dibutuhkan penambahan bahan kimia secara terus – menerus. Hal ini akan mengurangi peralatan operasional dan pemeliharaan. Pengelolaan secara pasif mengandalkan terjadinya proses bio – kimiawi yang berlangsung terus menerus secara alami dalam peningkatan pH dan pengikatan serta pengendapan logam – logam terlarut.

Penelitian bertujuan mengkaji keberhasilan pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan metode *aerobic wetland* berdasarkan baku mutu air. Metode yang digunakan pada pengelolaan air asam tambang secara pasif pada adalah dengan mengkombinasikan kolam SAPS (*Succesive Alkalinity Producing System*) dengan kolam AW (*Aerobic Wetland*). Terdapat 4 kolam dan 1 kolam *outlet* sebagai indikator keberhasilan *passive treatment* ini. Metode ini dapat meningkatkan pH dan menurunkan konsentrasi Fe dan Mn. Adanya tanaman pada sistem lahan basah ini memberikan kontribusi meningkatkan kandungan bahan organik melalui zat hasil pembuangan yang dikeluarkan oleh tanaman dan dekomposisi sisa tanaman serta menyerap logam – logam berat.

**Kata kunci :** *Passive treatment, Aerobic Wetland, SAPS, pH, Logam berat*

## PENDAHULUAN

Upaya untuk mengurangi dampak negatif air asam tambang telah dilakukan oleh perusahaan tambang, baik melalui penggunaan bahan kimia maupun secara biologi. Salah satu proses pengolahan aktif adalah dengan menambahkan bahan kimia yang dapat menetralkan kemasaman limbah. Beberapa bahan penetralisir yang banyak digunakan antara lain adalah kalsium oksida, kalsium karbonat, sodium hidroksida, magnesium oksida dan magnesium hidroksida.

Teknologi lain yang juga banyak dikembangkan adalah pembuatan lahan basah (*wetland*). Proses pembuatan lahan basah dilakukan dengan mengacu pada proses yang terjadi pada metode lahan basah (*wetland*) atau proses-proses alami lainnya. Metode lahan basah dapat meningkatkan pH dan menurunkan konsentrasi Fe dan Mn. Tanaman pada metode lahan basah ini memberikan kontribusi meningkatkan kandungan

bahan organik melalui zat-zat hasil sekresi dan dekomposisi sisa tanaman. Disamping itu, pengurangan konsentrasi logam sebagian terjadi karena proses pengendapan logam dengan adanya reduksi sulfat secara biologi dan sebagian kecil juga diserap oleh tanaman.

*Aerobic wetland* hanya cocok untuk kondisi air yang net alkali karena metode ini akan memberikan aerasi pada air limbah oleh adanya zona perakaran dari vegetasi. Vegetasi yang biasanya dipakai umumnya adalah *Typha Angustifolia*, *Pharagmites australis* dan beberapa vegetasi lokal. Aerasi menyebabkan oksidasi Fe dan Mn sehingga mengalami presipitat yang akan tetap dipertahankan dalam lahan basah.

Pengelolaan pasif air asam tambang dalam penelitian ini menggunakan metode *aerobic wetland* yang terdiri dari kombinasi dua kolam *successive alkalinity producing system* (SAPS) dengan dua kolam *aerobic wetland* (AW) dan satu kolam outlet. Pada pengelolaan pasif tidak lagi dibutuhkan penambahan bahan kimia secara terus – menerus. Hal ini akan mengurangi peralatan operasional dan pemeliharaan. Pengelolaan secara pasif mengandalkan terjadinya proses bio – kimiawi yang berlangsung terus menerus secara alami dalam peningkatan pH dan pengikatan serta pengendapan logam – logam terlarut.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Aerobic Wetland* (AW)

AW merupakan suatu kolam menyerupai rawa yang ditanami tumbuhan air seperti *Typha Angustifolia* pada bahan organik dengan ketinggian air 0.10–0.50 m. Kompos, serbuk gergaji, rumput kering dan kotoran binatang merupakan bahan-bahan yang digunakan sebagai bahan organik pada AW. Bahan organik tersebut mengandung sumber karbon yang menunjang aktifitas bakteri untuk mengkonsumsi oksigen sehingga membentuk lingkungan anoksik.

Pada umumnya kolam pengendapan dibangun sebelum AW, yang berfungsi untuk mengurangi kandungan besi hidroksida  $Fe(OH)_3$  pada AAT. Kolam tersebut dibangun dengan waktu tinggal 8 – 24 jam dan berkedalaman 1.5–2.5 m. AW dapat berfungsi secara efektif dalam mengolah air yang bersifat *net alkaline*, dimana logam akan diendapkan melalui reaksi oksidasi membentuk oksida dan hidroksida. Proses ini akan berjalan efisien saat  $pH > 5.5$

### *Successive Alkalinity Producing Systems* (SAPS)

Kolam SAPS terdiri dari air (0.30 – 1.80 m), bahan organik (0.15 – 0.60 m) dan lapisan batugamping (0.60 – 1.5 m). AAT mengalir secara vertikal melewati bahan organik sebelum mengalami kontak dengan batugamping. Lapisan bahan organik pada SAPS diharapkan dapat menghilangkan oksigen dan mengubah  $Fe^{3+}$  menjadi  $Fe^{2+}$  untuk menghindari *armouring* pada batugamping. Kondisi tersebut akan menguraikan batugamping untuk menghasilkan bikarbonat. Hal ini akan menaikkan daya larut atau solubilitas dari batugamping dengan menaikkan tekanan pada  $CO_2$  yang menghasilkan pembentukan dekomposisi dari lapisan organik dan menetralkan keasaman.

Air pada lapisan batugamping akan mengalir ke bawah masuk ke dalam pipa–pipa berlubang dan keluar pada kolam pengendapan selanjutnya. Jika waktu tinggal pada

kolam pengendapan sudah cukup maka *outlet* dari SAPS akan mencapai reaksi setimbang dan partikel – partikel padat akan mengendap di dalam kolam sebelum mencapai pengaliran.

### **Proses Penghilangan Logam**

Kegiatan penambangan batubara menyebabkan terjadinya proses oksidasi mineral pirit yang menghasilkan AAT dengan konsentrasi ion-ion terlarut, seperti Fe dan Mn. Pengolahan pasif AAT menggunakan kombinasi metode SAPS dengan metode AW dapat menurunkan konsentrasi logam Fe dan logam Mn yang tergantung pada pH air dan daya serap tanaman terhadap logam Fe dan logam Mn.

Metode SAPS bertujuan untuk meningkatkan alkalinitas dengan batugamping dan menumbuhkan bakteri pereduksi sulfat dari bahan organik sehingga pH naik, kenaikan pH pada kolam SAPS dimaksudkan agar tanaman *Typha Angustifolia* dapat tumbuh pada kolam AW setelah AAT dari SAPS mengalir kedalam kolam AW. Pertumbuhan tanaman *Typha Angustifolia* akan mempengaruhi daya serap terhadap logam berat.

### **Mekanisme Penyerapan Logam oleh Tanaman *Typha Angustifolia***

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses. Tiga proses yang saling berhubungan ini adalah sebagai berikut : Penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dan penempatan logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut.

Penyerapan logam oleh akar, agar tumbuhan dapat menyerap logam maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizofer) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tumbuhannya. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar pada proses translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain yaitu logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut yaitu *xilem* dan *floem* ke bagian tumbuhan lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul *khelat*. Berbagai molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan seperti *histidin* yang dapat mengikat logam berat. Penempatan logam pada jaringan yaitu untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme *detoksifikasi* misalnya menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar dan lateks.

### **METODE PENELITIAN**

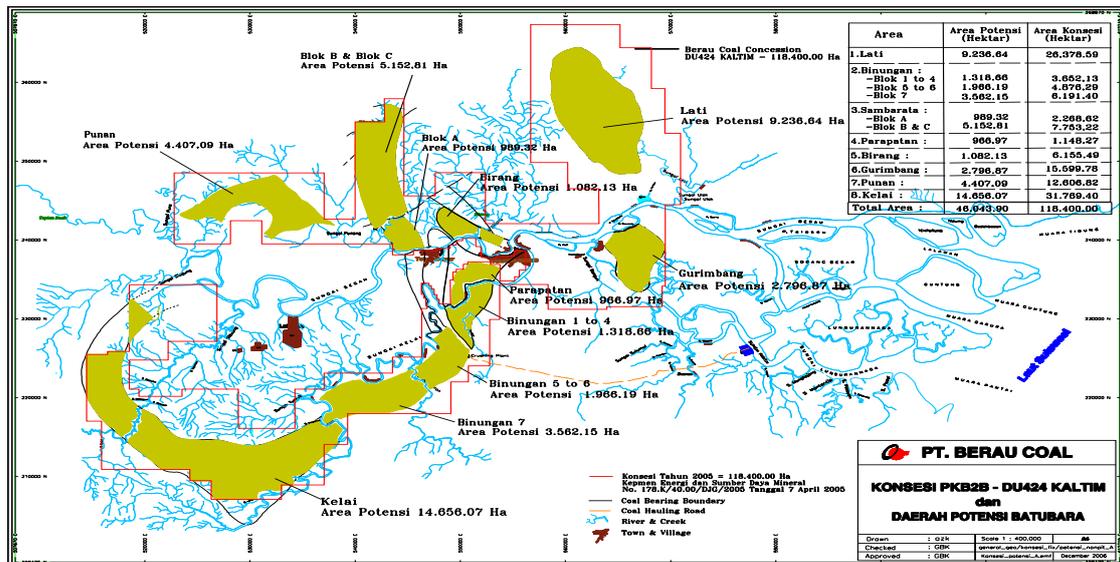
Terbentuknya AAT ditandai oleh pH yang rendah (1,5 – 4) dan konsentrasi logam terlarut yang tinggi dari conto air asam tambang.

Conto air asam tambang pada kolam – kolam pengendapan diambil kemudian digunakan untuk mengetahui keberhasilan pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan metode *aerobic wetland* dan perlu adanya pengujian lebih lanjut melalui pengujian di laboratorium untuk mengetahui keterdapatan dan besarnya beban pencemaran, antara lain uji pH, uji TSS, uji kadar Fe dan uji kadar Mn. Parameter pH, TSS, Fe dan Mn akan dibandingkan dengan baku mutu air untuk mengetahui keberhasilan pengelolaan air asam tambang.

## LOKASI DAERAH PENELITIAN

Lokasi penambangan PT. Berau Coal yang akan dijadikan daerah Penelitian adalah lokasi tambang Lati (*Lati Mine Operation*). LMO (*Lati Mine Operations*), berproduksi sejak tahun 1993 berada di wilayah desa Sambakungan Kecamatan Gunung Tabur, 35 km ke arah timur Kabupaten Tanjung Redeb. Dapat ditempuh dengan menggunakan *speedboat* dari dermaga khusus PT. Berau Coal yang berada di wilayah kantor pusat PT. Berau Coal yang dapat dicapai dalam waktu 25 menit dari Tanjung Redeb dan dapat melalui darat dari Tanjung Redeb selama sekitar 45 menit.

Lati dengan luas areal sebesar 1.691,99 ha merupakan lokasi tambang terbesar dari 3 (tiga) lokasi tambang yang sedang beroperasi di PT. Berau Coal saat ini. *Site* Lati saat ini telah beroperasi di 4 (empat) *pit*, yaitu : *pit E*, *pit East*, *pit West* dan *pit T*. Lokasi *pit* ini berjarak sekitar 13 km dari area kantor *Lati Mine Operation*. Dapat ditempuh selama 20 menit dengan menggunakan kendaraan roda empat, melalui jalan darat yang juga merupakan jalan angkut untuk batubara (*coal hauling*) menuju *CPP* (*coal processing plant*).



Gambar 1  
Peta Konsesi Kerja PT. Berau Coal

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konstruksi dan Spesifikasi Fungsi Sistem Pengolahan Pasif Air Asam Tambang

Terdapat dua metode pengolahan pasif AAT yang digunakan dalam penelitian ini, yakni metode SAPS dan AW. SAPS merupakan salah satu metode dari sistem pengolahan pasif AAT yang menggunakan bahan organik dan batugamping dalam susunan vertikal membentuk lapisan dengan ketebalan tertentu, dimana AAT akan mengalir secara vertikal di dalam sistem. Berbeda halnya dengan SAPS, AAT yang mengalir pada AW mengalir secara horizontal pada vegetasi tanaman air dengan media tanam bahan organik dengan luasan tertentu.

Kombinasi antara SAPS dengan AW selanjutnya disebut sebagai satu kesatuan sistem, dimana pada penelitian ini terdiri dari dua sistem bersuksesi yang selanjutnya disebut Sistem 1 dan Sistem 2. Penamaan setiap kolam pada masing-masing sistem mengikuti penamaan sistemnya, yakni SAPS 1 dan AW 1 untuk sistem 1, sedangkan sistem 2 disebut dengan SAPS 2 dan AW 2, jadi dalam penelitian ini terdiri dari 4 (empat) kolam. Seluruh kolam disusun dengan urutan berselang-seling sesuai dengan penamaan sistem. Adapun urutannya adalah SAPS 1 - AW 1 – SAPS 2 - AW 2 atau Sistem 1 – Sistem 2. Konstruksi SAPS dan AW dapat dilihat pada gambar 2 dan spesifikasi fungsi kolam dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 2  
*Passive Treatment*

Keterangan :

1 = Kolam SAPS 1  
2 = Kolam AW 1

3 = Kolam SAPS 2  
4 = Kolam AW 2

5 = Kolam *Outlet*

Tabel 1  
Spesifikasi Fungsi Kolam SAPS dan Kolam AW

KOLAM	MEDIA	FUNGSI
SAPS	Batugamping dan bahan organik	1. Menambahkan alkalinitas melalui pelepasan ion bikarbonat batugamping 2. Menambahkan alkalinitas dan mengendapkan logam
AW	Bahan organik dan tanaman <i>Typha Angustifolia</i>	1. Menambahkan alkalinitas dan mengendapkan logam 2. Menyerap logam Fe dan Mn

### Titik Sampling Air Asam Tambang

Selama penelitian berlangsung, sampel diambil setiap hari dari *inlet* dan *outlet* AAT yang masuk pada sistem. Terdapat 5 titik pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 3, yaitu :

1. Titik 1 : AAT pada *inlet* Kolam SAPS 1

Kolam SAPS 1 mempunyai media batugamping dan bahan organik yang berfungsi menambahkan alkalinitas melalui pelepasan ion bikarbonat batu gamping dan mengendapkan logam melalui proses reduksi sulfat. AAT dari *Water monitoring point 7* dialirkan menuju kolam SAPS 1 dengan kecepatan aliran air terukur 0,2 m/s. Sampel AAT diambil dari pipa *inlet* kemudian diukur pH nya menggunakan alat spektrometer. Setiap 1 bulan sekali sampel air diambil untuk diujikan kadar Fe dan Mn pada laboratorium. Selama penelitian berlangsung kolam SAPS 1 mempunyai pH 3,02 – 3,32 dan kadar Fe 1,21 mg/L – 2,08 mg/L serta kadar Mn 3,8 mg/L – 4,6 mg/L.

2. Titik 2 : AAT pada *inlet* Kolam AW 1

Kolam AW 1 mempunyai media bahan organik dan tanaman *Typha* yang berfungsi menambahkan alkalinitas dan mengendapkan logam melalui proses reduksi sulfat. AAT dari kolam SAPS 1 dialirkan menuju kolam AW 1 dengan kecepatan aliran air terukur 0,2 m/s. Sampel AAT diambil dari pipa *inlet* kemudian diukur pH nya menggunakan alat spektrometer. Selama penelitian berlangsung kolam AW 1 mempunyai pH 3,06 – 3,35.

3. Titik 3 : AAT pada *inlet* Kolam SAPS 2

Kolam SAPS 2 mempunyai media batugamping dan bahan organik yang berfungsi menambahkan alkalinitas melalui pelepasan ion bikarbonat batu gamping dan mengendapkan logam melalui proses reduksi sulfat. AAT dari kolam AW 1 dialirkan menuju kolam SAPS 2 dengan kecepatan aliran air terukur 0,2 m/s. Sampel AAT diambil dari pipa *inlet* kemudian diukur pH nya menggunakan alat spektrometer. Selama penelitian berlangsung kolam SAPS 2 mempunyai pH 3,1 – 3,36.

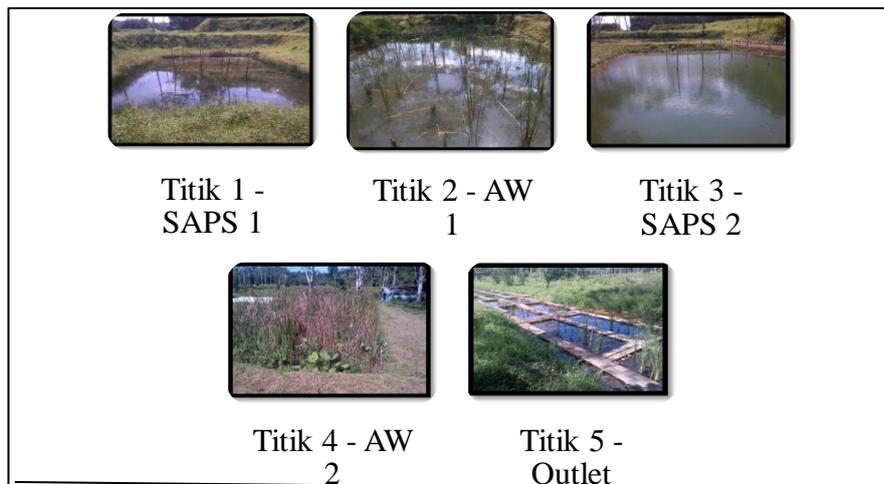
4. Titik 4 : AAT pada *inlet* Kolam AW 2

Kolam AW 2 mempunyai media bahan organik dan tanaman *Typha* yang berfungsi menambahkan alkalinitas dan mengendapkan logam melalui proses reduksi

sulfat. AAT dari kolam SAPS 2 dialirkan menuju kolam AW 1 dengan kecepatan aliran air terukur 0,2 m/s. Sampel AAT diambil dari pipa *inlet* kemudian diukur pH nya menggunakan alat spektrometer. Selama penelitian berlangsung kolam AW 2 mempunyai pH 6,57 – 6,9.

5. Titik 5 : AAT pada *outlet*

Kolam *outlet* merupakan kolam terakhir dalam kombinasi kolam SAPS dan AW. Selama penelitian berlangsung kolam *outlet* mempunyai pH 6,49 – 6,73 dan kadar Fe 0,15 mg/L – 0,16 mg/L serta kadar Mn 0,3 mg/L – 3,5 mg/L.



Gambar 3 Titik Sampling

### Pengukuran Jumlah Logam yang Hilang

Pengukuran jumlah logam yang hilang pada penelitian ini dilakukan berdasarkan konsentrasi logam yang hilang dalam satuan gram per hari pada luasan area tertentu. Untuk logam Fe yang hilang sebagai berikut :

$$Fe_{in} \text{ (g/d)} = 32,39$$

$$Fe_{eff} \text{ (g/d)} = 3,05$$

$$Fe_{rem} \text{ (g/d)} = 29,34$$

Dengan  $Fe_{rem} \text{ (g/d)}$  = Konsentrasi logam Fe yang hilang perhari

$Fe_{in} \text{ (g/d)}$  = Konsentrasi logam Fe *inlet* perhari

$Fe_{eff} \text{ (g/d)}$  = Konsentrasi logam Fe *outlet* perhari

Efisiensi konsentrasi untuk logam Fe sebesar 90,58 %

Untuk logam Mn yang hilang sebagai berikut :

$$Mn_{in} \text{ (g/d)} = 82,7$$

$$Mn_{eff} \text{ (g/d)} = 37,412$$

$$Mn_{rem} \text{ (g/d)} = 45,288$$

Dengan  $Mn_{rem} \text{ (g/d)}$  = Konsentrasi logam Mn yang hilang perhari

$Mn_{in} \text{ (g/d)}$  = Konsentrasi logam Mn *inlet* perhari

$Mn_{eff} \text{ (g/d)}$  = Konsentrasi logam Mn *outlet* perhari

Efisiensi konsentrasi untuk logam Mn sebesar 54,76 %.

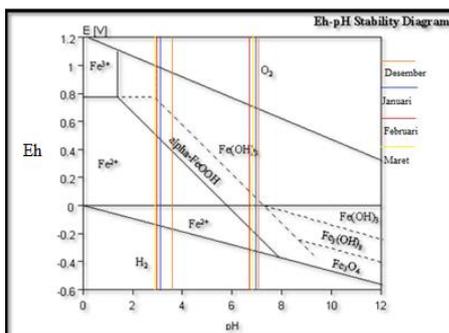
### Diagram Eh – pH Fe dan Mn

Kolam SAPS bertujuan untuk meningkatkan alkalinitas dengan batugamping dan menumbuhkan bakteri pereduksi sulfat dari bahan organik sehingga pH naik. Kenaikan pH akan mempengaruhi proses penghilangan logam terlarut sedangkan pada kolam AW pertumbuhan tanaman *Typha Angustifolia* akan mempengaruhi daya serap terhadap logam berat melalui proses reduksi sulfat. Proses penghilangan logam terlarut dapat dilihat pada diagram Eh – pH Fe dan Mn

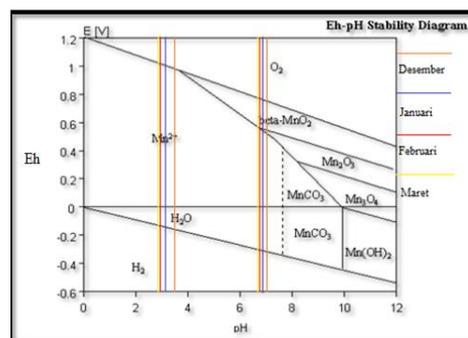
Pada lokasi penelitian di bulan Desember menunjukkan pada kolam I (*inlet*) pH rata – rata adalah 3,768 dan pada kolam V (*outlet*) pH rata – rata adalah 6,914. Pada bulan Januari di kolam I (*inlet*) pH rata – rata adalah 3,368 dan pada kolam V (*outlet*) pH rata – rata adalah 6,869. Pada bulan Februari di kolam I pH rata – rata adalah 3,133 dan pada kolam V (*outlet*) pH rata – rata adalah 6,606. Pada bulan Maret di kolam I pH rata – rata adalah 3,130 dan pada kolam V (*outlet*) pH rata – rata adalah 6,660. Hubungan Nilai pH dengan proses penghilangan logam terlarut tiap bulan pada kolam inlet dan outlet dapat dilihat pada gambar 4.

Logam besi (Fe) terlarut pada *outlet* di bulan Desember mempunyai nilai 0,2 mg/L, bulan Januari mempunyai nilai 0,05 mg/L, bulan Februari mempunyai nilai 0,16 mg/L dan bulan Maret mempunyai nilai 0,15 mg/L telah memenuhi standar baku mutu logam besi (Fe) berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 113 Tahun 2003 yang menyatakan bahwa standar baku mutu logam besi (Fe) adalah 7 mg/L.

Logam Mangan (Mn) terlarut pada *outlet* di bulan Desember mempunyai nilai 1,9 mg/L, bulan Januari mempunyai nilai 3,2 mg/L, bulan Februari mempunyai nilai 0,3 mg/L dan bulan Maret mempunyai nilai 3,5 mg/L telah memenuhi standar baku mutu logam Mangan (Mn) berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 113 Tahun 2003 yang menyatakan bahwa standar baku mutu logam besi (Mn) adalah 4 mg/L.



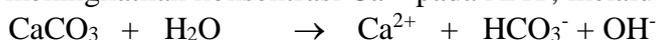
Gambar 4 Eh – pH stability diagram (Fe)



Gambar 5 Eh – pH Stability diagram (Mn)

### Langkah memaksimalkan *passive treatment* pada lokasi penelitian

Terlarutnya  $\text{CaCO}_3$  yang merupakan komponen utama batugamping, dapat menetralkan keasaman, meningkatkan pH dan konsentrasi alkalinitas ( $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{OH}^-$ ), serta meningkatkan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  pada AAT, melalui persamaan reaksi.



Kadar  $\text{CaCO}_3$  yang terkandung pada batugamping pada penelitian ini adalah 80%.

Penambahan bobot batugamping pada kolam SAPS 1 dari 128,075 ton menjadi 150 ton dan pada kolam SAPS 2 dari 128,075 ton menjadi 150 ton akan menaikkan ion

Ca<sup>2+</sup> dari 40,984 ton menjadi 48 ton, ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dari 62,501 ton menjadi 73,2 ton dan ion OH<sup>-</sup> dari 17,418 ton menjadi 20,4 ton sehingga akan menambahkan konsentrasi alkalinitas (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan OH<sup>-</sup>) dan meningkatkan konsentrasi Ca<sup>2+</sup> yang mempengaruhi transfer hara/gizi tanaman pada AAT.

Penambahan *Typha Angustifolia* sebanyak 918 dari 702 *Typha Angustifolia* menjadi 1620 *Typha Angustifolia* pada dua kolam AW akan menyerap logam sebanyak 74,63 gram/hari dan meningkatkan efisiensi logam yang hilang sebesar 130,81 %.

### Parameter Setelah Pengelolaan Air Asam Tambang

Parameter yang ditinjau sebelum dan setelah pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan metode *aerobic wetland* dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini

Tabel 2

Parameter Setelah Pengelolaan Air Asam Tambang

Parameter	Sebelum	Sesudah	Kepmen LH 113 2003
pH	3,13	6,633	6 - 9
Fe Total (mg/l)	1,645	0,155	7
Mn Total (mg/l)	4,2	1,9	4

### KESIMPULAN DAN SARAN

1. Sistem pengelolaan pasif air asam tambang pada penelitian ini menggunakan 4 kolam dengan kombinasi metode *Succesive Alkalinity Producing System* (SAPS) dan *Aerobic Wetland* serta 1 kolam *outlet* sebagai indikator keberhasilan pengelolaan air asam tambang secara pasif sebelum dilepas ke sungai.
2. Kualitas air asam tambang sesudah pengolahan pasif dilakukan terjadi peningkatan pH dari 3,13 menjadi pH 6,633 dan kandungan logam berat Fe turun dari 1,645 mg/L menjadi 0,155 mg/L serta kandungan logam berat Mn turun dari 4,2 mg/L menjadi 1,9 mg/L.
3. Pengelolaan air asam tambang secara pasif yang dilakukan dalam penelitian ini dapat menghilangkan konsentrasi logam Fe terlarut sebesar 29,34 gram perhari dengan efisiensi 90,58 % dan konsentrasi logam Mn terlarut sebesar 45,288 gram perhari dengan efisiensi 54,76 %.
4. Berdasarkan kepmen LH no 113 tahun 2003 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan pertambangan batubara sudah memenuhi baku mutu ditinjau dari pH rata - rata pada kolam *effluen* sebesar 6,633 (pH maksimum berdasarkan kepmen sebesar 6 – 9), ditinjau dari konsentrasi Fe rata - rata sebesar 0,155 mg/L (Fe maksimum berdasarkan kepmen sebesar 7 mg/L) dan ditinjau dari konsentrasi Mn rata – rata sebesar 1,9 mg/L (Mn maksimum berdasarkan kepmen sebesar 4 mg/L) sehingga memenuhi baku mutu air limbah pertambangan batubara.
5. Menonaktifkan kolam *outlet* karena dibutuhkan perawatan secara berkala yang sebenarnya tidak diperlukan jika kolam ini dihilangkan.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2004, [www.acidmine.com](http://www.acidmine.com) *Acid Mine Drainage treatment*, Wikipedia, Internet google.

2. Anonim, 2005, *Acid Mine Drainage treatment*, Wikipedia, Internet google gardguide.
3. Anonim 2005, [www.Soils.wisc.edu](http://www.Soils.wisc.edu) Eh – pH diagram, Wikipedia, Internet google.
4. Anonim, 2012, Makalah Seminar Air Asam Tambang, Direktorat Teknik Mineral dan Batubara; Ditjen Geologi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
5. Anonim, 2012, Makalah Kursus Air Asam Tambang, Direktorat Teknik Mineral dan Batubara, Jakarta
6. Damariscotta, 2003, *Operation and Maintenance for Passive Treatment Systems*, Clarion.
7. Effendi, 2003, Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, Bandung.
8. Fajrin, A. M., 2008, Pengelolaan Air Asam Tambang. *Enviro* Department PT. Berau Coal, Berau.
9. Gautama, 2012, Seminar Air Asam Tambang dan Tantangan, Bandung.
10. Hewly, 1941, Formasi Sinjin, Berau.
11. Jag et al, *Succesive Alkalinity Producing System*, Clarion.
12. Klompe, 1941, Formasi Birang, Berau.
13. Keputusan menteri Lingkungan Hidup no 113, Baku Mutu Air Limbah pada kegiatan penambangan batubara, Jakarta.
14. Kusuma, G. J. Dan Gautama R. S., Air Asam Tambang di Indonesia; 2007, Potensi pengelolaan regulasi dan tantangan saat ini, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
15. Munawar A, 2007, Laporan pengelolaan air asam tambang PT. Berau Coal, Berau.
16. Peraturan Pemerintah no 82, 2001, Kriteria baku mutu air berdasarkan kelas, Jakarta.
17. Peraturan daerah provinsi Kaltim no 2, 2011, Baku mutu air limbah, Samarinda.
18. Priyanto dan Joko, 2002, Proses Penyerapan Logam oleh Tanaman, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
19. Ridge dan Seif, 2014, Net Alkaline, Clarion.
20. Situmorang dan Burhan, 1992, *Simplified Geologic Map of the Tarakan Basin*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
21. Skousen, J., 2001, *Passive Systems for Treating Acid Mine Drainage*, West Virginia University, Morgantown.
22. Standar Nasional Indonesia 13 – 7170, Air Asam Tambang, Jakarta.
23. Undang Undang no 4, 2009, Mineral dan Batubara, Direktorat Teknik Mineral dan Batubara Minerba, Jakarta.
24. Watzlaf, G. R., Schroeder, K. T., Kleinmann, R. L. P., Kairies, C. L., Nairn, R. W., 2014, *The Passive Treatment of Coal Mine Drainage*, U. S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory 1202, Pittsburg, USA.
25. Yusron. M, 2008, Pengolahan Air Asam Tambang. IPB. Bogor, Bogor.