

**EVALUASI PENERAPAN SISTEM SETTLING POND DALAM
PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DI PT INTERNASIONAL PRIMA
COAL SAMARINDA KALIMANTAN TIMUR**

***EVALUATION OF SETTLING POND SYSTEM APPLICATION IN ACID MINE
DRAINAGE MANAGEMENT AT PT INTERNASIONAL PRIMA COAL
SAMARINDA EAST KALIMANTAN***

***Muhammad Rafif Riefanto Subagja¹⁾, Mohammad Nurcholis^{2)*}, Yudi Ardiansyah³⁾,
Surya Dirja⁴⁾***

¹⁾Mahasiswa Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. SWK 104 Yogyakarta 55282

²⁾Dosen Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. SWK 104 Yogyakarta 55282

³⁾Mahasiswa Program Studi Magister Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. SWK 104 Yogyakarta 55282

⁴⁾SHE Supervisor - PT Bukit Makmur Mandiri Utama Jobsite IPR

^{*)}Corresponding Author: nurch2003@yahoo.com

ABSTRACT

PT Internasional Prima Coal is a coal mining company utilizing open-pit mining methods, which has the potential to generate acid mine water that can be environmentally damaging if discharged directly into rivers. Hence, the necessity for management, one of which includes the use of settling ponds. The research aims to understand the application of the settling pond system in acid water management and determine the quality of acid mine water and sediment from the inlet to the outlet zones of settling ponds 01 and 08. The research employed survey and laboratory analysis methods. Sampling of acid mine water utilizes grab sampling techniques, while sediment sampling utilizes a core sampler. Parameters used for acid mine water and sediment samples included pH of water, sediment pH (H₂O, KCl), Eh, TSS, Fe, Mn, Pb, and Cd levels. Determination of acid mine water quality referred to the East Kalimantan Regional Regulation No. 2 of 2011 concerning the Quality Standards of Coal Industry Wastewater, specifically for pH, TSS, Fe, and Mn, and Minister of State for the Environment Decision No. KEP-51/MENLH/10/1995 for Pb and Cd. Sediment quality referenced the Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario. The research results indicate that acid mine water and sediment generated by mining activities exhibit characteristics of Fe, Mn, Pb, Cd, and TSS meeting the quality standards but possess low pH values (acidic), especially in Settling Pond 01. Acid mine water that underwent treatment experienced an increase in quality, making it safe for discharge into water bodies. The water flow rate requiring treatment in Settling Pond 01 is 1.110 m³/s sourced from rainwater, runoff, while Settling Pond 08 is 0.704 m³/s from rainwater, runoff, and pumping from the mine's sump pit.

Keywords: Acid Mine Water, Sediment, Heavy Metals, Settling Pond

ABSTRAK

PT Internasional Prima Coal merupakan perusahaan tambang batubara dengan metode *open pit mining* yang berpotensi menghasilkan air asam tambang yang dapat merusak lingkungan jika dialirkan secara langsung ke sungai. Maka dari itu perlunya pengelolaan salah satunya yaitu dengan *settling pond*. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui penerapan sistem *settling pond* dalam pengelolaan air asam dan mengetahui kualitas air asam tambang serta sedimen pada zona *inlet* sampai zona *outlet settling pond* 01 dan 08. Penelitian menggunakan metode yang digunakan yaitu survey dan analisis laboratorium. Pengambilan sampel air asam tambang menggunakan teknik *grab sampling* dan sedimen *core sampler*. Parameter yang digunakan untuk sampel air asam tambang dan sedimen yaitu pH air, pH sedimen (pH H₂O, KCl), Eh, TSS, kadar Fe, Mn, Pb dan Cd. Penentuan kualitas air asam tambang mengacu pada Peraturan Daerah Kaltim No. 2 Tahun 2011 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Batubara khususnya untuk parameter pH, TSS, Fe dan Mn dan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri untuk Pb dan Cd. Sedangkan untuk sedimen mengacu pada *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*. Hasil penelitian menunjukkan air asam tambang dan sedimen yang dihasilkan oleh kegiatan penambangan memiliki karakteristik Fe, Mn, Pb, dan Cd serta TSS yang sudah memenuhi baku mutu, namun memiliki nilai pH yang rendah (asam) terutama pada *Settling Pond* 01. Air asam tambang yang telah dilakukan pengolahan atau *treatment* mengalami kenaikan kualitas sehingga aman untuk dibuang ke perairan. Debit air yang harus diolah di *Settling Pond* 01 adalah 1.110 m³/s yang bersumber dari air hujan dan air limpasan dan *Settling Pond* 08 adalah 0,704 m³/s yang bersumber dari air hujan dan air limpasan serta pemompaan dari *sump* pit tambang.

Kata kunci: *Air Asam Tambang, Sedimen, Logam Berat, Settling Pond*

PENDAHULUAN

PT Internasional Prima Coal yaitu sistem tambang terbuka (*open pit mining*), dengan meningkatnya kegiatan pertambangan akan meninggalkan dampak lingkungan berupa terjadinya perubahan bentang alam, hilangnya vegetasi di top soil pada proses land clearing, serta terjadinya penurunan kualitas tanah terutama pada hilangnya unsur hara tanah dan bahan organik tanah akibat proses penggalian yang juga dapat menyebabkan perubahan topografi dan pencemaran tanah dan air seperti menghasilkan Air Asam Tambang (AAT) yang dapat merusak lingkungan jika dialirkan secara langsung ke sungai. Air tersebut terbentuk sebagai hasil oksidasi mineral sulfida tertentu yang terkandung dalam batuan oleh oksigen di udara pada lingkungan berair. Mineral sulfida yang banyak dijumpai pada pertambangan batubara, yaitu mineral pirit (FeS₂).

Air asam tambang khususnya yang ada di areal bekas tambang memiliki pH 2-6, ion-ion logam seperti Mn, Fe, dan senyawa sulfat lainnya. Pengendalian terhadap air asam tambang merupakan hal yang perlu dilakukan selama kegiatan penambangan berlangsung dan setelah kegiatan penambangan berakhir. Kolam Pengendapan Lumpur (KPL) atau *Settling Pond* merupakan kolam yang dibuat untuk menampung dan mengendapkan partikel air limpasan yang berasal dari daerah pertambangan atau tempat penimbunan material sementara sebelum air tersebut disalurkan kembali ke badan air seperti sungai, rawa, danau, dan lain-lain.

Pengolahan terhadap air limbah tambang pada unit pengolahan (*Settling Pond*) dengan metode penambahan reagen berupa kapur tohor untuk menaikkan kadar pH agar sesuai dengan baku mutu dan air tawas serta sebagai koagulan untuk mengendapkan padatan tersuspensi dengan penambahan koagulan untuk menurunkan nilai *Total Suspended Solid* (TSS) beserta kandungan logam seperti Fe, Mn, Pb, dan Cd. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan sistem pengelolaan air asam tambang di tambang batubara. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi upaya menjaga keberlanjutan lingkungan di wilayah tambang batu bara.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Juli- Agustus 2023 di lokasi penambangan PT Internasional Prima Coal Kelurahan Bantuas, Kec. Palaran, Kota Samarinda, Prov Kalimantan Timur yang memiliki luas sebesar 3.238 Ha (tiga ribu dua rabu tiga puluh delapan hektar). Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu kegiatan lapangan dan di laboratorium.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey dan analisis labolatorium. Data dikumpulkan melalui wawancara, observasi, studi pustaka, dan kegiatan apangan. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem settling pond dalam mengolah air asam tambang berdasarkan data yang terkumpul dari kegiatan lapangan dan laboratorium pada zona inlet, kompartemen I, kompartemen II, kompartemen III dan zona outlet pada settling pond 01 dan 08, sehingga didapatkannya parameter pH, Eh, TSS (*Total Suspended Solid*), besi (Fe), mangan (Mn), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) apakah sudah sesuai dengan Peraturan Daerah Kaltim No. 2 Tahun 2011 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Batubara khususnya untuk parameter pH, TSS, Fe dan Mn (Tabel 1) dan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri untuk Pb dan Cd (Tabel 2).

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Pertambangan Batubara

No	Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
1.	TSS	300
2.	Besi Total (Fe)	7
3.	Mangan Total (Mn)	4
4.	pH	6,0 – 9,0

Sumber: Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur Nomor 02 (2011)

Tabel 2. Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri Pb dan Cd

No	Parameter	Satuan	Golongan Baku Mutu Limbah Cair	
			I	II
1.	Timbal (Pb)	mg/l	0,1	1
2.	Cadmium (Cd)	mg/l	0,05	0,1

Sumber: KEPMENLH Nomor 51, (1995)

Sedimen yang terbentuk di lapisan permukaan settling pond karena hanya sebagian kecil ion logam bebas tetap larut dalam air dan sebagian besar lebih dari 90% muatan logam berat dalam sistem perairan telah ditemukan terkait dengan partikel tersuspensi dan sedimen (Zahra *et al.*, 2013). Dengan demikian, distribusi logam dalam sedimen yang berdekatan dengan daerah eksploitasi pertambangan dapat memberi bukti pengaruh antropogenik pada sistem perairan dan dalam menilai potensi risiko yang terkait dengan pembuangan limbah air asam tambang. Maka dari itu akan didapatkan nya kelebihan, kekurangan, serta rekomendasi untuk perbaikan sistem Settling Pond dalam pengelolaan air asam tambang di PT Internasional Prima Coal. Kandungan logam berat dalam sedimen dibandingkan dengan baku mutu *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* (Table 3).

Tabel 3. Nilai Baku Mutu Sedimen (mg/kg)

Logam (mg/kg)	<i>No Effect Level</i>	<i>Lowest Effect Level</i>	<i>Severe Effect Level</i>
Besi (Fe)	-	20.000	40.000
Mangan (Mn)	-	460	1.100
Timbal (Pb)	-	31	250
Kadmium (Cd)	-	0,6	10

Sumber: Hayton (1993)

Dalam baku mutu tersebut menetapkan 3 tingkat level terhadap nilai baku mutu yaitu *No Effect Level*, *Lowest Effect Level*, dan *Severe Effect Level*. *No Effect Level* menunjukkan logam berat dalam sedimen tidak mempengaruhi biota atau organisme yang tinggal di sedimen. *Lowest Effect Level* menunjukkan tingkat kontaminasi yang tidak berpengaruh pada mayoritas organisme yang tinggal di sedimen. *Severe Effect Level* yang pada tingkat ini, sedimen dianggap sangat tercemar dan cenderung mempengaruhi kesehatan organisme yang tinggal di sedimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawasan Penambangan Batubara PT Internasional Prima Coal

Kawasan area penambangan batubara PT Internasional Prima Coal berada di Kelurahan Bantuas dan Kelurahan Handil bakti, Kecamatan Palaran, Kota Samarinda, Kalimantan Timur yang terdapat pada formasi Balikpapan, formasi kampungbaru dan formasi pulaubalang yang merupakan formasi pembawa batubara yang dijumpai di wilayah pesisir Kalimantan Timur. Secara garis besar memiliki topografi yang pada umumnya berbukit-bukit dan dataran rendah. Ketinggian di daerah penelitian berkisar antara 30 mdpl – 88 mdpl dengan kemiringan lereng dari datar (0-2)^o hingga sangat curam (>45^o) dengan bentuk lahan antropogenik karena merupakan proses atau akibat perubahan bentuk lahan yang berkaitan dengan aktivitas manusia dalam hal ini proses penambangan, reklamasi yang mencakup lahan yang dijadikan sebagai tempat revegetasi dengan penebaran *top soil* serta proses pembuatan *Settling Pond* untuk mengelola air asam tambang. Sesuai dengan kondisi iklim di Kota Samarinda yang tergolong dalam tipe iklim Tropika Humida dan berdasarkan klasifikasi menurut Schmidt Ferguson termasuk

kedalam zona B (Basah), maka jenis-jenis tanah yang terdapat di daerah ini pun tergolong kedalam tanah yang bereaksi masam. Tanah podsolik merah kuning yang terdapat di area penambangan batubara bersifat asam dengan pH 4,45 - 4,98. Nilai perhitungan Q yang didapatkan adalah sebesar 20,4%.

Evaluasi Settling Pond

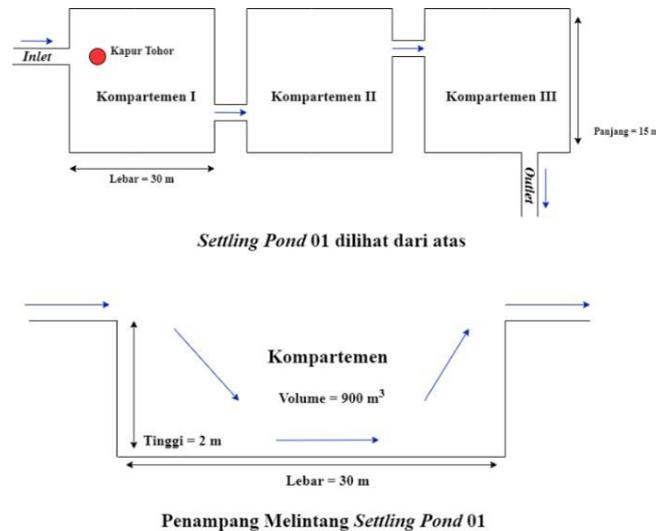
a. Dimensi Settling Pond

Settling Pond 01 (SP 01) dan Settling Pond 08 (SP 08) merupakan fasilitas pengelolaan air yang berlokasi di area penambangan batubara. Fungsinya adalah untuk mengolah air pada saat hujan atau surface run off sebelum keluar menuju perairan umum. Dimensi dari settling pond penting untuk menentukan banyak dan kapasitas maksimum sedimen yang akan mengendap dan tersedia sebelum dilakukannya perawatan yang berupa pengerukan pada settling pond. Dimensi SP 01 dan SP 08 dapat dilihat pada Tabel 4 dan sketsa pada Gambar 1. dan Gambar 2.

Tabel 4. Dimensi *Settling Pond*

No	Settling Pond	Dimensi <i>Settling Pond</i> (m)			Volume (m ³)
		Panjang	Lebar	Kedalaman	
1	SP 01	15	30	2	900
2	SP 08	20	30	3	1.800

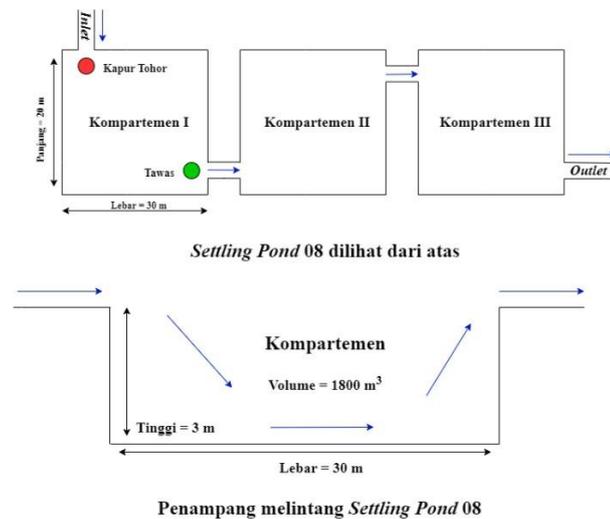
Sumber: PT Internasional Prima Coal, (2023)



Gambar 1. Sketsa *Settling Pond* 01 Ukuran Tidak Sesuai Skala Aslinya

Debit air limpasan pada daerah settling pond dihitung dengan rumus rasional dengan mengalikan intensitas curah hujan, koefisien limpasan, dengan luas daerah tangkapan hujan di sekitar atau yang akan mengalir ke settling pond. Curah hujan rencana didapatkan dari perhitungan menggunakan data sekunder berdasarkan data curah hujan maksimum tahun 2013-2022 yang diolah dengan menggunakan distribusi Gumbell, maka curah hujan rencana maksimum yang diperoleh yaitu 313,654 mm/hari dengan periode ulang hujan lima tahun. Setelah itu intensitas hujan didapatkan menggunakan rumus mononobe sebesar 41,128 mm/jam dengan waktu hujan (t) sebesar 4,3 jam. Pada perhitungan curah hujan ini data yang digunakan adalah pengulangan intensitas hujan

untuk periode 5 tahun dikarenakan faktor umur, kemajuan tambang, serta jangka waktu penggunaan settling pond tersebut.



Gambar 2. Sketsa *Settling Pond* 08 Ukuran Tidak Sesuai Skala Aslinya

Luas *catchment area* pada SP 01 adalah 16,18 ha dan SP 08 6,82 ha. Koefisien limpasan ditentukan berdasarkan survey lapangan, pada SP 01 dan SP 08 berada pada kemiringan sedang (3-15%) dan terdapat semak-semak di SP 01 sehingga nilai koefisien nya adalah 0,6 sedangkan SP 08 merupakan lahan terbuka maka nilai koefisien nya 0,7. Berdasarkan data tersebut didapatkan debit air limpasan yang masuk menuju SP 01 adalah sebesar 1,110 m³/s dan 0,546 m³/s di SP 08. Total debit air yang masuk ke *settling pond* dihitung berdasarkan debit limpasan dan ada atau tidak adanya pemompaan yang akan memengaruhi total debit air yang harus dikelola. Di PT IPC menggunakan pompa dengan jumlah pompa yang masuk menuju SP 08 sebanyak 1 pompa dengan jenis pompa Allight HL200, sedangkan pada SP 01 sudah tidak dilakukan pemompaan lagi. Kemampuan pompa maksimal pompa yaitu sebesar 600 m³/jam dengan nilai *Physical Availability* (PA) pompa sebesar 95% dan lama pemompaan selama 10 jam. Sehingga debit pompa yang masuk menuju SP 01 dan SP 08 sebesar 570 m³/jam atau 0,1583 m³/detik, maka dari itu, total debit air yang masuk dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Total Debit Air yang Masuk ke *Settling Pond*

<i>Settling Pond</i>	<i>Catchment Area</i> (ha)	Debit Limpasan (m ³ /s)	Debit Pompa (m ³ /s)	Debit Total (m ³ /s)
SP 01	16,18	1,110	-	1.110
SP 08	6,82	0,546	0,158	0,704

Sumber: PT Internasional Prima Coal, (2023)

Berdasarkan hukum *stokes*, hasil perhitungan kecepatan pengendapan dipengaruhi oleh gaya gravitasi, diameter partikel, densitas partikel, densitas fluida, dan viskositas fluida. Proses pengendapan partikel SP 08 mampu mengendap dengan baik karena waktu yang diperlukan untuk pengendapan tidak lebih besar dari waktu aliran keluar dari kolam pengendapan ($t_v < t_h$). Karena, jika waktu yang diperlukan untuk mengendap lebih besar

dari waktu yang diperlukan untuk mengalir ke luar kolam atau dengan kata lain proses pengendapan lebih lambat daripada aliran air maka proses pengendapan tidak akan berjalan dengan baik seperti halnya yang terjadi pada SP 01 ($t_v > t_h$). Hal ini dibuktikan dengan persentase pengendapan pada SP 01 hanya mampu mengendapkan 44,73% sedangkan SP 08 63,01%

Pengelolaan Air Asam Tambang

Karakteristik Air asam tambang batubara bervariasi dari satu tambang ke tambang yang lainnya dikarenakan perbedaan jenis tanah sistem dan teknik penambangan, dan sumber air asam tambang. Air asam tambang yang masuk pada *settling pond* 01 (SP 01) berasal dari air hujan dan air limpasan yang berada di area yang topografinya lebih tinggi di sekitar SP 01, sedangkan air asam tambang yang masuk ke *settling pond* 08 (SP 08) berasal dari air limpasan dan air pemompaan *Sump Pit Eagle 3*. Tingkat kemasaman, komposisi logam dalam air asam tambang bergantung pada jenis dan jumlah konsentrasi mineral sulfida, dan keberadaan mineral alkalin pada batuan tersebut. Keberadaan material alkalin dapat menjadi bahan penetral asam, sehingga dapat mengurangi jumlah AAT yang terbentuk (Skousen, 2002).

Air asam tambang akan dikelola menggunakan metode fisika-kimia. Metode fisika air asam tambang diolah di *settling pond* dengan desain kolam yang terdiri dari kompartemen-kompartemen dan pada setiap sekat kompartemennya berbentuk zig-zag untuk memperkecil kecepatan aliran air, yang dapat menyebabkan terjadinya waktu air untuk keluar dari *settling pond* menjadi lebih lama sehingga memungkinkan partikel padatan pada air pat mengendap terlebih dahulu. Secara kimia, air asam tambang ditambahkan bahan alkalin seperti CaO dengan cara ditebarkan secara langsung pada kompartemen *settling pond*, yang dapat meningkatkan pH dan mempercepat proses oksidasi besi ferro (yang memerlukan aerasi aktif), dan menyebabkan pengendapan sebagian besar logam-logam larut sebagai hidroksida atau karbonat (Johnson dan Hallberg, 2005).

Pengelolaan air asam tambang sangat penting untuk dilakukan mengingat air asam tambang akan berdampak buruk bagi lingkungan sekitar terutama untuk biota air apabila dialirkan secara langsung ke badan air, upaya yang dilakukan oleh PT Internasional Prima Coal untuk mengelola air asam tambang yaitu pengelolaan secara aktif untuk meningkatkan pH air, menurunkan TSS serta pengendapan logam berat dengan penambahan alkalin berupa kapur tohor (CaO) dan tawas ($Al_2(SO_4)_3$) dalam bentuk gumpalan atau bongkah, karena dinilai efektif dan ekonomis dalam menstabilkan pH air dan menurunkan kadar TSS, Fe, Mn, Pb dan Cd. Penggunaan kapur tohor dan tawas yang ditambahkan di lapangan yaitu sebanyak 0,1 g/l dan jumlahnya tergantung target pH yang mau dicapai dan banyaknya debit air yang masuk. Seperti untuk menaikkan pH asal 3 menjadi 6 diperlukan kapur sekitar 0,4 g/l air asam tambang yang di pompa (PT IPC, 2023). Penggunaan tawas dan kapur tohor yang ditambahkan di lapangan yaitu sebanyak 1-2 karung (1 karung = 25kg). Pada kondisi aktual, penambahan tawas dan kapur adalah sebanyak 25-50 kilogram perhari. Penambahan tersebut sudah cukup efisien untuk menaikkan pH air.

Pada SP 01 hanya dilakukan pengapuran pada kompartemen I sedangkan pada SP 08 pemberian kapur tohor dilakukan selama proses pemompaan berlangsung pada area *inlet* sebelum air masuk ke kompartemen I, lalu pemberian zat koagulan berupa tawas dilakukan apabila air secara visual dinilai keruh pada area *inlet* atau pada saluran dari

kompartemen I menuju kompartemen II. Pemberian kapur tohor maupun dilakukan dengan ditebarkan secara langsung di *settling pond*. Tawas merupakan salah satu bahan koagulan yang mampu mengikat zat tersuspensi dalam air. Sebelum tawas dibubuhkan dalam air maka diperlukan suatu takaran atau dosis untuk menyesuaikan kuantitas suatu bahan koagulan dengan air limbah. Dosis tawas yang akan dipakai untuk setiap perlakuan, dimaksudkan untuk menghasilkan efek yang optimal untuk menurunkan TSS dan tetap menjaga pH. Tingginya angka TSS menyebabkan kekeruhan air yang dibawa masuk oleh padatan tersuspensi ke dalam perairan dimana hal ini akan berdampak pada ekosistem perairan.

Tabel 6. Penambahan Kapur Tohor dan Tawas Aktual

<i>Settling Pond</i>	Penambahan Kapur (CaO) Aktual (Kg)	Penambahan Tawas Aktual (Kg)
SP 01	25	-
SP 08	25-50	25-50

Sumber: PT Internasional Prima Coal (2023)

Perawatan *Settling Pond*

Upaya perawatan kolam pengendapan harus dilakukan agar kolam pengendapan tetap berfungsi sebagaimana mestinya yang dapat dilakukan dengan pengerukan kolam dari sedimentasi, perbaikan tanggul kolam dan saluran airnya. Memastikan akses jalan masuk ke *settling pond* selalu dalam keadaan baik dan bisa dilewati tidak tertutup oleh maupun alat/kendaraan. Proses pengerukan sedimen yang terakumulasi di dasar *settling pond* dilakukan secara berkala untuk menghindari penumpukan yang berlebihan. Proses pembersihan dapat dilakukan dengan alat berat seperti *excavator*. Penentuan jangka waktu pengerukan dapat diketahui dari perbandingan antara volume kolam yang direncanakan dengan volume padatan yang berhasil diendapkan. Waktu pengerukan pada *settling pond* dipengaruhi oleh kandungan TSS dan besar debit air yang masuk menuju *settling pond* tersebut. Pada SP 01 waktu pengerukannya yaitu 448 hari sedangkan SP 08 yaitu 75 hari. Namun berdasarkan hasil wawancara waktu tersebut tidak bisa dijadikan sebagai patokan karena apabila *settling pond* sudah terpenuhi 50% dari volume total oleh tampungan sedimen, maka harus sudah dilakukan pengerukan. Penilaian tampungan sedimen di kolam dapat dilakukan dengan inspeksi/survey ketinggian pada kolam.

Air Asam Tambang dan Sedimen *Settling Pond* 01 (SP 01)

Air asam tambang pada SP 01 memiliki pH dan TSS yang rendah dengan potensial redoks (Eh) yang tinggi karena SP 01 merupakan *settling pond* yang sudah tidak aktif dilakukannya pemompaan dari area *pit* dan hanya dilakukan *treatment* berupa kapur tohor dengan cara disebar secara pada kompartemen I, adanya pH yang rendah mengakibatkan tingginya kelarutan logam, seperti Fe dan Mn, dan logam-logam berat yang lain (Pb dan Cd) yang dibebaskan dari mineral-mineral sulfida dan mineral yang berasosiasi (Johnson & Hallberg, 2005). Hal ini didukung dengan data kandungan sulfur dalam batubara yang berada di sekitar blok Eagle 1 yang merupakan blok dimana SP 01 berada, kandungan sulfurnya tergolong tinggi yaitu 1,42%. Sulfur dapat diklasifikasikan tinggi apabila nilainya > 0,8% (Fatimah dan Herudiyanto, 2007). Kandungan sulfur yang tinggi dalam bentuk sulfur piritik (FeS₂) menjadi penyebab utama pembentukan air asam tambang. Berdasarkan pengumpulan data di lapangan dan analisis laboratorium pada SP 01

didapatkannya data parameter air asam tambang dan sedimen (Tabel 7 dan 8).

Tabel 7. Air Asam Tambang SP 01

Lokasi	Parameter						
	pH	Eh (mV)	TSS (mg/l)	Fe	Mn	Pb	Cd
<i>Zona Inlet</i>	2,90	379,1	74,2	0,5148	5,3018	0,1877	<0,0001
Kompartemen I	3,81	369,3	56,8	0,0288	1,8112	0,0842	<0,0001
Kompartemen II	4,22	317,5	53,4	0,0322	0,6192	0,1816	<0,0001
Kompartemen III	4,06	267,6	51,6	0,0335	0,7496	0,0062	<0,0001
<i>Zona Outlet</i>	5,45	245,7	50,0	0,0377	0,0434	<0,0001	<0,0001

Tabel 8. Sedimen SP 01

Lokasi	Parameter							
	H ₂ O	KCl	Δ pH	Eh (mV)	Fe	Mn	Pb	Cd
<i>Zona Inlet</i>	3,01	2,94	0,07	369,2	16.396	536	45,15	0,02
Kompartemen I	4,12	4,02	0,10	370,2	10.122	624	26,39	0,13
Kompartemen II	4,27	4,10	0,17	310,4	11.236	365	14,66	0,49
Kompartemen III	4,87	4,21	0,66	289,6	13.802	329	36,87	0,96
<i>Zona Outlet</i>	4,95	4,52	0,43	215,5	10.163	296	45,28	0,05

pH Air Asam Tambang dan Sedimen SP 01

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada parameter pH, dari pengecekan secara langsung di lapangan menggunakan pH meter dan analisis labolatorium didapatkannya pH air asam tambang pada SP 01 yaitu 2,9 hingga 5,45. Nilai pH termasuk sangat asam terutama pada zona *inlet* yaitu memiliki nilai pH 2,9 hal ini dapat terjadi karena SP 01 merupakan *settling pond* yang sudah tidak aktif (tidak dilakukannya pemompaan) sehingga sumber air berasal dari debit limpasan hujan sekitar *settling pond* atau *catchment area* yang bereaksi secara langsung dengan batuan yang mengandung mineral pirit (FeS₂) dan bahan mineral sulfida lainnya yang tersingkap ke permukaan tanah serta belum dilakukan nya *treatment*. Kondisi pH yang sangat masam ini juga disebabkan oleh reaksi oksidasi yang terus-menerus terjadi karena banyaknya kandungan oksigen yang masuk ke dalam air yang dapat mempercepat reaksi oksidasi. Setelah dilakukannya *treatment* berupa penambahan kapur tohor pada kompartemen I terjadi peningkatan pH secara bertahap dengan pH akhir pada zona *outlet* SP 01 nilainya adalah 5,45. Hal tersebut dapat terjadi karena pengaplikasian kapur hanya dilakukan dengan ditaburkan secara langsung pada kompartemen tanpa adanya aliran air.

Berdasarkan data yang sudah didapatkan pH H₂O sedimen berkisar 3,01 – 4,95 dan pH KCl berkisar 2,94 – 4,52. Baik pH aktual dan potensial menunjukkan nilai yang masam namun terus meningkat dari zona *inlet* menuju *outlet*. Hal ini dapat terjadi karena faktor pembetuk karakteristik dari sedimen berasal dari air asam tambang yang sama-sama memiliki pH yang sangat rendah. Secara umum, logam berat akan meningkat toksisitasnya pada pH rendah (asam), sedangkan pada pH tinggi (basa) logam berat akan mengalami pengendapan. (Andara *et al.*, 2014). Delta pH (Δ pH) adalah selisih nilai pH H₂O – pH KCl. Nilai ΔpH dapat digunakan untuk menunjukkan keberadaan mineral bermuatan variabel. Tanah bermuatan variabel diketahui dari nilai ΔpH yaitu diantara

positif 0,5 sampai negatif 0,5. (Qafoku *et al.*, 2004). Berdasarkan hasil analisis sedimen yang digunakan dalam percobaan ini memiliki Δ pH sebesar 0,07-0,66. Hal tersebut menunjukkan bahwa sedimen yang digunakan dalam percobaan ini bermuatan variable yakni muatannya berubah-ubah sesuai dengan naik turunnya pH tanah karena memiliki nilai Δ pH antara -0,5 sampai 0,5.

Potensial Redoks (Eh) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 01

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada parameter Eh, dari analisis labolarotium didapatkannya Eh air asam tambang pada SP 01 yaitu berkisar 245 mV (reduksi rendah) - 379,1 mV (oksidasi rendah). Secara umum diketahui bahwa potensial redoks (Eh) sedimen juga merupakan parameter penting yang mengendalikan mobilitas logam berat dan berdasarkan data yang telah didapatkan nilai Eh pada sedimen berkisar 215 mV (reduksi rendah) – 369,2 (oksidasi rendah). Semakin tinggi nilai Eh menunjukkan kondisi yang oksidasi maka akan mempercepat laju oksidasi sulfida dan degradasi senyawa organik, serta mempercepat pembebasan logam berat yang teradsorpsi/kompleks (Feng *et al.*, 2009).

Total Suspended Solid (TSS) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 01

Terjadi perubahan nilai TSS dari zona *inlet* sampai *outlet* pada SP 01. Berdasarkan hasil analysis yang dilakukan secara langsung dilapangan menggunakan alat TSS meter *Partech 740* pada 5 titik dari *inlet* sampai *outlet* pada SP 01 berkisar 50 - 74,2 mg/l. nilai tertinggi TSS adalah 74,2 mg/l pada lokasi *inlet* dan terendah TSS adalah 50 mg/l pada lokasi *Outlet*. Pada saat pengambilan sampel air di SP 01 tidak terjadinya hujan selama 14 hari dan tidak dilakukannya pemompaan sehingga volume dan debit air aktual yang masuk ke SP 01 tidak sebesar dengan perhitungan debit limpasan. Kadar TSS yang rendah pada SP 01 juga dapat disebabkan oleh banyaknya vegetasi berupa rerumputan, tekian, dan *Legume Cover Crop* (LCC) yang sudah tumbuh pada area SP 01 yang dapat mengurangi partikel-partikel padatan yang terbawa oleh aliran permukaan.

Besi (Fe) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 01

Air asam tambang pada SP 01 memiliki kandungan logam besi (Fe) berkisar 0,0288 – 0,5148 ppm, nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* sebesar 0,5148 ppm. Kandungan Fe tersebut sudah memenuhi standar baku mutu air limbah industri batubara dalam Peraturan Daerah Kaltim No. 2 Tahun 2011 yaitu 7 mg/l (ppm). Pada lokasi pengambilan sampel memiliki nilai pH < 4 terutama dalam zona *inlet* dan kompartemen I dan II dan nilai Eh pada SP 01 bernilai positif menunjukkan suasana oksidatif. Semakin rendah nilai Fe dalam air merupakan indikasi hilangnya Fe melalui reaksi oksidasi dan hidrolisis yang dipercepat karena penambahan kapur. Kapur tohor (CaO) dapat mempercepat laju oksidasi yang merubah Fe²⁺ (ferro) menjadi Fe³⁺(ferri) yang kemudian mengendap (Nurcholis *et al.*, 2018).

Sedimen memiliki kandungan Fe berkisar 10.121,63 – 16.395,81 ppm dengan nilai tertinggi terdapat pada zona inlet sebesar 16.395,81 ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario tahun 1993 kadar Fe tersebut mendekati LEL (Lowest Effect Level) sebesar 20.000 ppm, hal ini menunjukkan bahwa kadar Fe dalam sedimen masih belum ada pengaruhnya untuk biota maupun organisme yang berada di dalam sedimen

dan tingkat pencemarannya termasuk rendah.

Mangan (Mn) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 01

Dari hasil analisis logam mangan (Mn) pada air asam tambang berkisar 0,0343 – 5,3018 ppm, nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* sebesar 5,3018. Kadar Mn pada *inlet* belum memenuhi standar baku mutu air limbah industri batubara dalam Peraturan Daerah Kaltim No. 2 Tahun 2011 yaitu 4 mg/l (ppm). Sedimen memiliki kandungan Mn berkisar 296,37 – 624,35 ppm dengan nilai tertinggi terdapat pada zona inlet sebesar 624,35 ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* tahun 1993. Kadar Mn tersebut berada diantara LEL (*Lowest Effect Level*) sebesar 460 ppm dan SEL (*Severe Effect Level*) sebesar 1.100 ppm, terutama pada zona inlet dan kompartemen I. Nilai konsentrasi Mn yang berada di atas nilai batas baku mutu LEL menunjukkan tingkat yang berpengaruh pada sebagian organisme dalam sedimen serta menunjukkan tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (*marjinal*) tercemar hingga tercemar secara signifikan.

Hasil kadar Mn pada air asam tambang dan sedimen pada zona inlet tergolong sangat tinggi. Kandungan logam mangan (Mn) dalam air asam tambang tersebut disebabkan oleh terdapatnya mineral-mineral yang mengandung mangan (Mn) yang selanjutnya bereaksi dengan udara dan air sehingga membentuk air asam tambang yang dapat menyebabkan menurunnya pH, serta meningkatkan kadar sulfat dan membawa logam berat Mn.

Timbal (Pb) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 01

Dari hasil analisis logam timbal (Pb) pada air asam tambang di SP 01 berkisar <0,0001 - 0,1877 ppm. Hasil kadar Pb tersebut tergolong tinggi terutama pada zona *inlet* yaitu 0,1877 ppm dan pada kompartemen II 0,1816 ppm, karena telah melebihi standar baku mutu yang telah ditentukan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no. 51 Tahun 1995 yaitu 0,1 mg/l (ppm). Tingginya konsentrasi Pb pada air asam tambang karena dari pH yang rendah dapat meningkatkan kelarutan Pb serta keberadaan Pb secara alamiah di alam seperti galena (PbS) yang terekspos ke luar akibat proses penambangan (Palar, 2004). Terjadi penurunan drastis kadar Pb dari kompartemen II ke kompartemen III, hal ini dapat terjadi karena pada titik pengambilan sampel di kompartemen III ditemukannya tanaman air berupa genjer (*Limnocharis flava*). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ishak (2014) genjer mampu menyerap logam Pb sebesar 0,055-0,061 ppm. Logam Pb diserap oleh tanaman dalam bentuk Pb^{2+} melalui akar.

Untuk sedimen memiliki kandungan Pb berkisar 14,66 – 35,28 ppm dengan nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* dan *outlet* sebesar 45,15 ppm dan 45,28 ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* tahun 1993 kadar Pb berada diantara LEL (*Lowest Effect Level*) sebesar 31 ppm dan SEL (*Severe Effect Level*) sebesar 250 ppm, terutama pada zona *inlet*, kompartemen III dan zona *outlet*. Konsentrasi Pb yang berada di antara nilai LEL dan SEL menunjukkan bahwa potensi tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (*marjinal*) tercemar hingga tercemar secara signifikan. Kadar Pb dalam sedimen tinggi dapat disebabkan oleh jenis sedimen yang berupa tanah liat dengan struktur yang halus. Semakin kecil ukuran partikel penyusun sedimen, maka luas permukaan semakin tinggi sehingga kemampuan mengikat logam beratnya semakin besar (Sudarso, 2005).

Kadmium (Cd) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 01

Hasil analisis logam kadmium (Cd) pada air asam tambang di SP 01 dari *inlet* sampai *outlet* sebesar $<0,0001$. Rendahnya konsentrasi Cd diduga disebabkan kadar Cd di dalam sampel air tidak mencapai limit deteksi alat. Kandungan Kadmium yang rendah berasal dari ketersediaan kadmium di kolom perairan yang secara alami sangat rendah yaitu $0,00011$ mg/l (Prasetyo, 2009). Hasil kadar Cd tersebut tergolong rendah karena sudah sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditentukan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no. 51 Tahun 1995 yaitu $0,05$ mg/l (ppm), dengan kata lain kandungan Cd dalam air asam tambang tergolong aman apabila dialirkan ke sungai. Menurut Effendi (2003) Cd di dalam air terdapat dalam jumlah yang sedikit dan bersifat tidak larut dalam air, namun cenderung mudah mengendap di sedimen. Hal ini diperkuat dengan hasil analisis Cd pada sedimen yang terus meningkat dari zona *inlet* hingga pucaknya pada kompartemen III sebelum menurun drastis pada zona *outlet*.

Pada sedimen kadar Cd berkisar $0,02 - 0,96$ ppm, nilai Cd tertinggi terdapat pada kompartemen III yaitu sebesar $0,96$ ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* tahun 1993 kadar Cd berada diantara LEL (*Lowest Effect Level*) sebesar $0,6$ ppm dan SEL (*Severe Effect Level*) sebesar 10 ppm, terutama pada kompartemen III. Konsentrasi Pb yang berada di antara nilai LEL dan SEL menunjukkan bahwa potensi tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (marjinal) tercemar hingga tercemar secara signifikan. Terjadi perubahan kadar Cd dalam sedimen tersebut akibat pengelolaan air asam tambang yang dilakukan, sehingga kadar Cd akan terus terakumulasi pada tiap-tiap kompartemen *settling pond*, pada saluran diantara kompartemen III menuju *outlet* terdapat pintu air yang dapat mengontrol kecepatan debit air yang keluar dari *settling pond*. Hal ini berpengaruh karena logam berat cenderung lebih mudah mengendap apabila dalam kondisi air yang tenang/tidak ada air yang masuk. pH juga dapat dijadikan sebagai salah satu faktor karena kenaikan pH akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari logam berat sehingga logam berat cenderung mengendap (Connel dan Miller, 1995)

Air Asam Tambang dan Sedimen Settling Pond 08 (SP 08)

Settling Pond 08 memiliki pH yang cenderung netral, Eh yang rendah dan TSS yang sangat tinggi. Berdasarkan uji laboratorium kadar logam berat Fe, Mn, Pb, dan Cd dalam air asam tambang maupun sedimen masih berada dalam baku mutu terutama zona *outlet* sehingga aman untuk dilairkan ke sungai, yang didukung oleh analisis laboratorium parameter logam berat pada air asam tambang dari zona *inlet - outlet*. Hal ini dapat terjadi karena keberadaan sulfur dalam batubara yang berada di sekitar pit Eagle 3 yang merupakan *pit* dimana air asam tambang SP 08 dipompa, kandungan sulfurnya tergolong rendah berkisar $0,16 - 0,37$ %. Sulfur dapat diklasifikasikan tinggi apabila nilainya $>0,6$ % (Fatimah dan Herudiyanto, 2007). Dengan kata lain, keberadaan mineral sulfida merupakan sumber dari keberadaan logam berat Fe, Mn, Pb, dan Cd dan proses dari oksidasi tersebut menjadi sangat penting dalam kemasaman air dan melepaskan logam tersebut ke alam sekitar terutama dalam air asam tambang.

Pada SP 08 dilakukan pemompaan sehingga aliran air yang masuk secara actual ke SP 08 tinggi, cepat lambatnya arus akan mempengaruhi laju persebaran logam berat di perairan. Arus yang kuat cenderung logam beratnya rendah, hal ini karena logam berat akan cepat terdistribusi merata (Mukhtasor, 2007). Terdapat kondisi yang berbeda yaitu

pada SP 08 merupakan *settling pond* yang masih aktif dilakukannya pemompaan dari *pit* dan *treatment* penambahan kapur tohor dan tawas. Berdasarkan pengumpulan data di lapangan dan analisis labolatorium pada SP 08 didapatkannya data parameter air asam tambang dan sedimen (Tabel 9 dan 10).

Tabel 9. Air Asam Tambang SP 08

Lokasi	Parameter						
	pH	Eh (mV)	TSS (mg/l)	Fe	Mn	Pb	Cd
				(ppm)			
Zona <i>Inlet</i>	5,68	178,7	1.000	0,0848	2,2297	0,0242	0,0235
Kompartemen I	5,82	192,7	639,9	0,0054	2,1254	<0,0001	0,0037
Kompartemen II	6,08	193,5	243,7	0,0124	1,9539	0,2766	0,0012
Kompartemen III	6,18	209,9	150,5	0,0251	1,9845	<0,0001	<0,0001
Zona <i>Outlet</i>	6,06	212,4	98,2	0,0198	1,9749	0,0850	<0,0001

Tabel 10. Sedimen SP 08

Lokasi	Parameter							
	pH			Eh (mV)	Fe	Mn	Pb	Cd
	H ₂ O	KCl	Δ pH					
(ppm)								
Zona <i>Inlet</i>	5,85	5,45	0,40	187,3	17.295	949	34,30	0,04
Kompartemen I	6,01	5,75	0,26	135,7	11.621	258	22,49	0,29
Kompartemen II	6,09	5,65	0,44	168,9	12.393	267	16,35	0,58
Kompartemen III	5,85	5,30	0,55	155,7	16.081	456	30,55	1,03
Zona <i>Outlet</i>	5,61	5,21	0,40	162,8	12.416	307	43,10	0,08

pH Air Asam Tambang dan Sedimen SP 08

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada parameter pH, dari pengecekan secara langsung di lapangan menggunakan pH meter dan analisis labolatorium didapatkannya pH air asam tambang pada SP 08 yaitu berkisar 5,68 – 6,18 termasuk agak masam dan mendekati netral dengan pH *inlet* 5,68 dan pH *outlet* 6,06. pH tersebut sudah memenuhi baku mutu air air limbah kegiatan batubara yaitu 6-9, hal ini dapat terjadi karena air yang berasal dari SP 08 merupakan air pemompaan dari *sump pit* tambang yang masih aktif. Serta dilakukannya *treatment* berupa pemberian kapur tohor dan tawas secara langsung di dekat area pemompaan zona *inlet* sehingga menyebabkan pH nya menjadi agak masam dan pada kompartemen 2 hingga zona *outlet* pH pada SP 08 terjadi perubahan secara fluktuatif namun tidak signifikan dan sudah sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Penambahan tawas atau Alumunium sulfat ini (Al₂(SO₄)₃) dapat menyebabkan penurunan pH bila dilarutkan dalam air akan menghasilkan senyawa H₂SO₄ yang akan menurunkan pH air (Tandiarrang *et al.*, 2016). Sedangkan pada sedimen untuk pH actual berkisar 5,85 – 6,01 dan pH KCl berkisar 5,21 – 5,75. Baik pH aktual dan potensial menunjukkan nilai yang agak masam dan mendekati netral serta cenderung stabil dari zona *inlet* menuju *outlet*. Hal ini dapat terjadi karena faktor pembetuk karakteristik dari sedimen berasal dari air asam tambang yang sama-sama memiliki pH yang agak masam. Delta pH (Δ pH) adalah selisih nilai pH H₂O – pH KCl.

Berdasarkan hasil analisis sedimen yang digunakan dalam percobaan ini memiliki Δ pH sebesar 0,26 - 0,55. Hal tersebut menunjukkan bahwa sedimen yang digunakan dalam percobaan ini bermuatan variabel karena memiliki nilai Δ pH antara -0,5 sampai 0,5

Potensial Redoks (Eh) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 08

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada parameter Eh, dari analisis laboratorium didapatkannya Eh air asam tambang pada SP 08 yaitu pada zona *inlet* 178,7 mV (reduksi rendah) - 212,4 mV (reduksi rendah). Sedangkan pada sedimen nilai potensial redoks (Eh) berkisar 135,7 mV (reduksi rendah) – 187,3 mV (reduksi rendah). Nilai Eh menunjukkan kondisi reduksi, dalam kondisi reduksi ini akan menyebabkan perubahan kelarutan besi (Fe) yang dimana terjadi perubahan Fe^{3+} (ferri) direduksi menjadi Fe^{2+} (ferro) (Ani dan Arifin, 2013), sehingga tidak terjadinya pembentukan air asam tambang yang ditandai dengan pH air asam tambang yang cenderung mendekati netral. Semakin tinggi Eh maka akan memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi. Sebaliknya, semakin rendah Eh maka akan mempunyai kemampuan oksidasi yang rendah atau reduksi (Utomo *et al.*, 2016).

Total Suspended Solid (TSS) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 08

Terjadi penurunan nilai TSS yang sangat signifikan dengan nilai TSS sangat tinggi terutama pada *inlet* - kompartemen I dengan nilai TSS 639,9 – 1000 mg/l, namun pada kompartemen II - *outlet* telah menunjukkan bahwa pengolahan air asam tambang telah berjalan dengan baik dengan pemberian kapur tohor dan tawas pada titik saluran kompartemen I menuju kompartemen II di SP 08 serta dari proses pengendapan di *settling pond*. Pemberian CaO dapat menurunkan TSS sejalan dengan penelitian Nurcholis *et al.* (2018), hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan TSS dari 320 mg/l menjadi 60 mg/l dalam waktu 10 hari setelah dilakukannya *treatment*. Serta Pemberian koagulan berupa tawas juga menyebabkan adanya proses koagulasi. Proses koagulasi yang dilakukan untuk menurunkan nilai TSS akan menghasilkan endapan yang terbentuk dari proses sedimentasi setelah air limbah mengalami proses koagulasi (Gozan *et al.*, 2009). Sehingga air asam tambang yang di *treatment* pada SP 08 telah memenuhi baku mutu.

Kadar TSS yang tinggi pada zona *inlet* juga dapat disebabkan oleh Penebangan dan pengangkutan vegetasi penutup pada saat pembersihan lahan (*land clearing*) di lokasi tambang dan pembongkaran batuan penutup batubara meninggalkan hamparan lahan terbuka mengakibatkan laju erosi tanah dan sedimentasi tinggi yang mengakibatkan terjadinya sedimentasi pada sumber-sumber air permukaan di wilayah sekitar tambang dan meningkatnya kandungan partikel padatan yang terbawa oleh aliran air (Munawar, 2017). Kadar TSS yang melebihi standar baku mutu air dapat menurunkan aktivitas fotosintesis tumbuhan air mikro maupun makro sehingga oksigen yang dilepaskan oleh tumbuhan menjadi berkurang dan mengakibatkan ikan-ikan menjadi mati apabila dilairkan secara langsung ke sungai dan tidak dilakukannya pengelolaan (Jiyah *et al.*, 2017).

Besi (Fe) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 08

Air asam tambang pada SP 08 memiliki kadar logam besi (Fe) berkisar 0,198 - 0,2510 ppm, nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* sebesar 0,2510 ppm, nilai tersebut sudah memenuhi standar baku mutu air limbah industri batubara dalam Peraturan Daerah Kaltim No. 2 Tahun 2011 yaitu 7 mg/l (ppm). Rendahnya kandungan Fe di air asam tambang dapat disebabkan karena pH yang cenderung agak masam mendekati netral yang dapat mempengaruhi tingkat kelauran besi serta pemberian kapur tohor dan tawas yang menyebabkan Fe yang berada dalam suspensi padatan mengendap ke sedimen.

Sedangkan sedimen kadar logam Fe berkisar 11.621 – 17.295 ppm, dengan nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* sebesar 17.295 ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* tahun 1993 kadar Fe tersebut mendekati LEL (*Lowest Effect Level*) sebesar 20.000 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa kadar Fe dalam sedimen masih belum ada pengaruhnya untuk biota maupun organisme yang berada di dalam sedimen dan tingkat pencemarannya termasuk rendah sehingga tidak perlu adanya penanganan khusus, namun tetap harus diperhatikan karena kadar logam besi (Fe) akan terus terakumulasi dalam sedimen.

Mangan (Mn) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 08

Dari hasil analisis logam mangan (Mn) pada air asam tambang Mn berkisar 1,9749 – 2,2297 ppm, nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* sebesar 2,2297. Kadar Mn pada *inlet* sudah memenuhi standar baku mutu air limbah industri batubara dalam Peraturan Daerah Kaltim No. 2 Tahun 2011 yaitu 4 mg/l (ppm). Untuk sedimen memiliki kandungan Mn berkisar 258,61 – 949,23 ppm dengan nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* sebesar 949,23 ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* tahun 1993 kadar Mn tersebut berada diantara LEL (*Lowest Effect Level*) sebesar 460 ppm dan mendekati SEL (*Severe Effect Level*) sebesar 1.100 ppm, terutama pada zona *inlet*. Nilai konsentrasi Mn yang berada di atas nilai batas baku mutu LEL menunjukkan tingkat yang berpengaruh pada sebagian organisme dalam sedimen serta menunjukkan tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (marjinal) tercemar hingga tercemar secara signifikan.

Timbal (Pb) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 08

Dari hasil analisis logam timbal (Pb) pada air asam tambang di SP 08 berkisar <0,0001 - 0,2766 ppm. Hasil kadar Pb tersebut termasuk sangat tinggi terutama pada kompartemen II yaitu 0,2766 ppm, karena telah melebihi standar baku mutu yang telah ditentukan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no. 51 Tahun 1995 yaitu 0,1 mg/l (ppm). Rendahnya kandungan logam berat Pb di Kompartemen I dan III disebabkan logam berat Pb yang masuk ke dalam kompartemen tersebut mengalami pengenceran akibat pengaruh arus yang tinggi (Wardani *et al.* (2014). Untuk sedimen memiliki kandungan Pb berkisar 16,35 – 43,1 ppm dengan nilai tertinggi terdapat pada zona *inlet* dan *outlet* sebesar 45,15 ppm dan 45,28 ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* tahun 1993 kadar Pb berada diantara LEL (*Lowest Effect Level*) sebesar 31 ppm dan SEL (*Severe Effect Level*) sebesar 250 ppm, terutama pada zona *inlet*, kompartemen III dan zona *outlet*. Konsentrasi Pb yang berada di antara nilai LEL dan SEL menunjukkan bahwa potensi tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (marjinal) tercemar hingga tercemar secara signifikan. Kadar logam berat yang tinggi dalam sedimen dapat diindikasikan bahwa logam tersebut yang terdapat dalam air asam tambang sudah mengalami pengendapan. Peningkatan nilai pH dari asam ke basa akan menurunkan kelarutan logam berat dalam kolom air sehingga akan mengendap dan terakumulasi dalam sedimen (Palar, 2004).

Kadmium (Cd) Air Asam Tambang dan Sedimen SP 08

Dari hasil analisis logam kadmium (Cd) pada air asam tambang di SP 01 dari *inlet* sampai *outlet* berkisar <0,0001- 0,0235. Hasil kadar Cd tersebut tergolong rendah karena

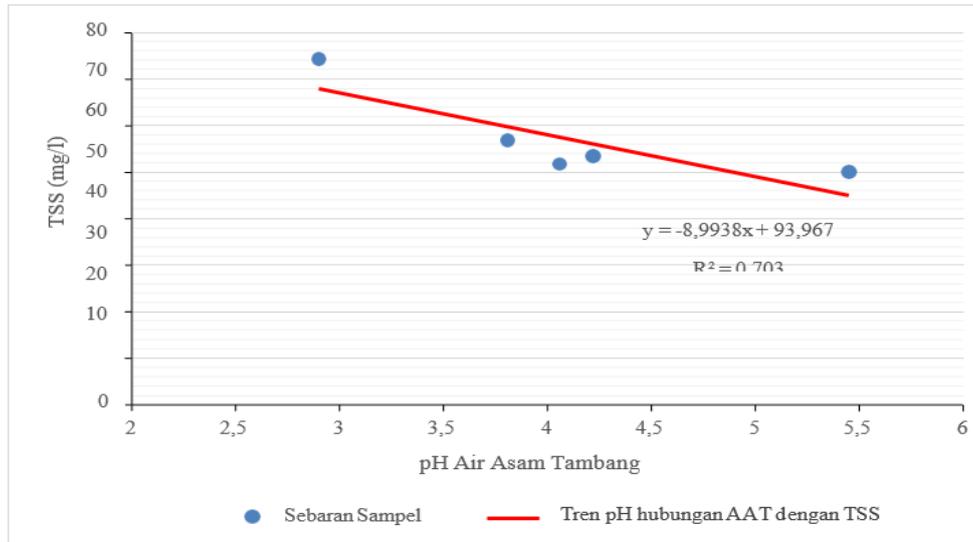
sudah sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditentukan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no. 51 Tahun 1995 yaitu 0,05 mg/l (ppm). Kadar logam Cd tersebut menurun seiring dengan kenaikan pH. Kenaikan pH akan menurunkan kelarutan logam berat dalam air karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air sehingga akan mengendap dan terakumulasi dalam sedimen (Palar, 2004). Selain itu bisa juga disebabkan karena sifat Cd yang tidak larut dalam basa (Widowati *et al.*, 2008). Sedimen SP 08 memiliki kandungan Cd berkisar 0,04 – 1,03 ppm dengan nilai tertinggi terdapat pada kompartemen III sebesar 1,03 ppm. Jika dibandingkan dengan nilai standar baku mutu dalam *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* tahun 1993 kadar Cd tersebut berada diantara LEL (*Lowest Effect Level*) sebesar 0,6 ppm dan mendekati SEL (*Severe Effect Level*) sebesar 10 ppm. Nilai konsentrasi Cd yang berada di atas nilai batas baku mutu LEL menunjukkan tingkat yang berpengaruh pada sebagian organisme dalam sedimen serta menunjukkan tingkat kontaminasi sedimen yaitu sedikit (marjinal) tercemar hingga tercemar secara signifikan. Hal ini dapat terjadi karena proses pengendapan dengan penambahan tawas serta akumulasi logam berat yang berada di sedimen yang terus bertambah dari zona *inlet*, kompartemen II dan III. Kadar logam berat yang tinggi dalam sedimen dapat menunjukkan bahwa logam Cd yang terdapat dalam air asam tambang sudah mengalami pengendapan.

Analisis Korelasi pH AAT dengan TSS pada Settling Pond

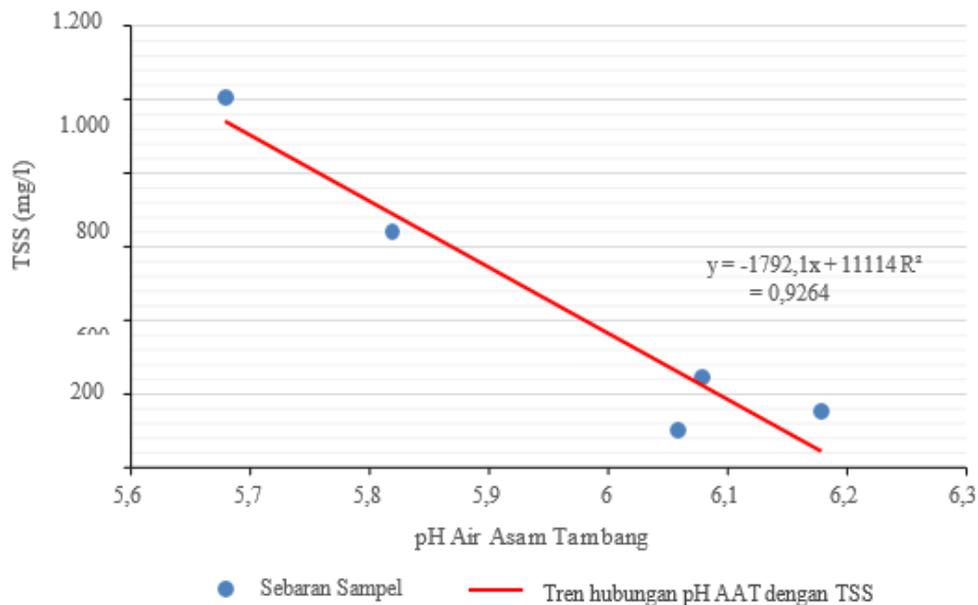
Penentuan korelasi antara pH air asam tambang dengan TSS menggunakan regresi linear sederhana. Persamaan regresi linier sederhana merupakan suatu model persamaan yang menggambarkan hubungan satu variabel bebas (x) dengan satu variabel tak bebas (y). Analisis korelasi dinyatakan sebagai koefisien korelasi (r) yang dapat bersifat positif dan negatif. Jika positif maka semakin tinggi variabel x, semakin tinggi pula variabel y, begitu sebaliknya jika negatif maka semakin tinggi variabel x, maka semakin rendah variabel y (Yuliara, 2016). Dalam pengujian ini pH air asam tambang sebagai variabel tak bebas (x) dan TSS sebagai variabel bebas (y).

Settling Pond 01

Berdasarkan hasil analisis regresi linier, terdapat korelasi negative antara pH air asam tambang dengan TSS dengan nilai korelasi (r) -0,838 yang termasuk dalam kategori sangat kuat. Serta didapatkannya koefisien determinasi (R²) sebesar 70,3% dengan kata lain pengaruh pH air asam tambang terhadap TSS SP 01 sebesar 70,3%, sedangkan 29,7% dipengaruhi oleh faktor lain. Berdasarkan hasil uji regresi linear tersebut, dapat diketahui bahwa hubungan pH dengan TSS bersifat negatif. Semakin tinggi nilai pH maka akan semakin rendah TSS pada SP 01. Hal ini dapat terjadi karena salah satu bagian dari TSS merupakan logam berat yang cenderung mengendap jika berada kondisi pH yang tinggi.



Gambar 2. Regresi pH Air Asam Tambang dengan TSS di Settling Pond 01



Gambar 3. Regresi pH Air Asam Tambang dengan TSS di Settling Pond 08

Settling Pond 08.

Berdasarkan hasil analisis regresi linier, terdapat korelasi negative antara pH air asam tambang dengan TSS dengan nilai korelasi (r) -0,963 yang termasuk dalam kategori sangat kuat. Serta didapatkannya koefisien determinasi (R^2) sebesar 90,1% dengan kata lain pengaruh pH air asam tambang terhadap TSS SP 01 sebesar 90,1%, sedangkan 9,9% dipengaruhi oleh faktor lain. Berdasarkan hasil uji regresi linear tersebut, dapat diketahui bahwa hubungan pH dengan TSS bersifat negatif. Semakin tinggi nilai pH maka akan semakin rendah TSS pada SP 01. Hal ini dapat terjadi karena salah satu bagian dari TSS merupakan logam berat yang cenderung mengendap jika berada kondisi pH yang tinggi.

KESIMPULAN

1. Penerapan sistem settling pond dalam pengelolaan air asam tambang di PT Internasional Prima Coal diawali dengan pembuatan kolam berbentuk zig-zag. Treatment yang dilakukan berupa penambahan kapur tohor (CaO) dan tawas sebanyak 25-50 kg. Penambahan tersebut sudah cukup efisien untuk menaikkan pH air untuk meningkatkan pH, menurunkan kadar TSS dan logam berat pada air asam tambang. Persentase pengendapan pada settling pond 01 hanya mampu mengendapkan 44,73% dengan waktu pengerukan nya yaitu 448 hari sedangkan settling pond 08 63,01% dengan waktu pengerukan yaitu 75 hari.
2. Hasil penelitian menunjukkan air asam tambang dan sedimen yang dihasilkan oleh kegiatan penambangan memiliki karakteristik Fe, Mn, Pb, dan Cd serta TSS yang sudah memenuhi baku mutu, namun memiliki nilai pH yang rendah (asam) terutama pada Settling Pond 01. Setelah dilakukannya treatment semua kadar logam pada zona outlet SP 01 dan SP 08 tergolong aman apabila dialirkan ke sungai karena sudah sesuai dengan baku mutu. Secara keseluruhan, kandungan logam Fe, Mn, Pb dan Cd pada sedimen di tiap lokasi pengambilan sampel lebih tinggi konsentrasinya dibandingkan dengan konsentrasinya di air.

DAFTAR PUSTAKA

- Andara D. R., Haeruddin, Suryanto A. 2014. Kandungan Total Padatan Tersuspensi, Biochemical Oxygen Demand dan Chemical Oxygen Demand serta Indeks Pencemaran Sungai Klampisan di Kawasan Industri Candi, Semarang. *Aquares Journal* 3: 177–187.
- Connell D. W., & Miller, G. J. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Terjemahan Y. Koestoer. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air (Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan)*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fatimah & Herudiyanto., 2007. Kandungan Sulfur Dalam Batubara Indonesia. *Buletin Sumber Daya Geologi* 2: 1-11.
- Feng, X. D., Dang, Z., Huang, W. L., & Yang, C. 2009. Chemical Speciation of Fine Particle Bound Trace Metals. *Jurnal Environ. Scie. Tech* 6: 337-346.
- Gozan, M., Wulan, P. P., & Putra, H. 2009. Peningkatan Efisiensi Penggunaan Koagulan pada Unit Pengolahan Air Limbah Batu Bara. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* 8: 44– 49.
- Isa, I., & Sakakibara. 2014. Potensi Tanaman Genjer (*Lamncharis Flava*) Sebagai Akumulator Logam Pb Dan Cu. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Jiyah, J., Sudarsono, B., & Sukmono, A. 2017. Studi Distribusi *Total Suspended Solid* (TSS) Di Perairan Pantai Kabupaten Demak Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Geodesi Undip* 6: 41-47.
- Johnson, B.D., & Hallberg K.B. 2005. Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of the Total Environment*. 338: 3-14
- Mukhtasor. 2007. *Pencemaran Pesisir dan laut*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha

- Munawar, A. 2017. *Pengelolaan Air Asam Tambang: Prinsip-prinsip dan Penerapannya*. Bengkulu: UNIB PRESS.
- Nurcholis, M., Wijaya, M., & Ratminah, W. D. 2018. Application of biostimulant and CaO to remediate acid mine drainage on the coal mining land in Lampung Sumatra Island. *J. Degrade. Min. Land Manage* 5: 1347-1354.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rieneka Cipta.
- Persaud, D., Jaagumagi, R., & Hayton, A. 1993. *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*. Ontario Ministry of Environment and Energy.
- Prasetyo, A. D. 2009. *Penentuan Kandungan Logam (Hg, Pb dan Cd) dengan Penambahan Bahan Pengawet dan Waktu Perendaman yang Berbeda pada Kerang Hijau (Perna viridis L.) di Perairan Muara Kamal, Teluk Jakarta (Skripsi)*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Qafoku, N., Van R., E., & Baert, G. 2004. Variable Charge Soils: Their Mineralogy, Chemistry and Management. *Advances in Agronomy* 84: 157-213.
- Tandiarrang, J., Devy, S. D., Trides. 2016. Studi Perbandingan Penggunaan Tawas dalam Pengolahan Air Asam Tambang di PT. Kaltim (Research Ratio Employing Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) And Calcium Hidroksida ($Ca(OH)_2$) In Processing Acid Mine Drainage At PT Kaltim Diamond Coal Subdistri. *Jurnal Teknologi Mineral* 4: 23–30.
- Utomo, M., Sudarsono, Rusman, B., Sabrina, T., Lumbanraja, J., & Wawan. 2016. *Ilmu Tanah: Dasar-dasar dan Pengelolaan*. Jakarta: Prenadamedia Grup.
- Wardani, K. A., Dewi, K. N., Utami. R. N. Akumulasi logam berat timbale (Pb) pada daging kerang hijau (Perna viridis) di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Unnes Journal of Life Science* 3: 1-8
- Widowati W., Sastiono A., & Yusuf. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Yuliara, I. M., 2016. *Regresi Linier Berganda*. Universitas Udayana.
- Zahra, A., Hashmi, M. Z., Malik, R. N., & Ahmed, Z. 2014. Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah-Feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan. *Science of the Total Environment* 1: 470–471.
- Zimkiewics, P.F., Skousen J.G., & Simmons. 2003. Long Term Performance of Passive Acid-Mine Drainage Treatment Systems. *Mine Water and the Environment*. 22: 118-129