

PENERAPAN *WETLAND* UNTUK PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG

Agus Panca Adi Sucahyo^{1,a}, Waterman Sulistyana Bargawa¹,
Mohammad Nurcholis¹, Tedy Agung Cahyadi¹

¹UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. SWK 104, Condongcatur, Depok, Sleman, DIY

^aagus.panca@hotmail.com

Abstrak

Air asam tambang (AAT) merupakan air dengan kandungan pH rendah (<4) dan logam terlarut dalam air limpasan. AAT terbentuk dari bertemunya tiga komponen, yaitu batuan yang mengandung sulfat, air dan udara. Batuan yang mengandung asam (potential acid forming) yang terkupas selama kegiatan penambangan dapat membentuk AAT setelah bertemu udara dan air yang berasal dari paparan air hujan langsung, air limpasan dan rembesan air tanah. Air limpasan yang tercemar tersebut mempunyai pH sekitar 2 – 4 dengan kandungan logam berat berupa Al, Fe, Mn, Cu dan Zn. Metoda dalam pengelolaan AAT terdiri dari sistem aktif dan sistem pasif. Paper ini membahas mengenai pengelolaan AAT dengan menggunakan sistem pasif wetland. Cakupan yang dibahas menyajikan beberapa hal terkait wetland diantaranya: ukuran wetland dan desain wetland yang tepat termasuk keasaman air yang keluar dari tambang (pH), kondisi reaksi oksidasi, laju aliran air serta waktu yang diperlukan dalam proses wetland serta luasan area yang tersedia untuk konstruksi wetland. Manfaat yang dihasilkan dari studi ini dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya dalam rangka program pascatambang tembaga dan emas.

Kata kunci: wetland, remediasi pasif, air asam tambang (AAT)

Abstract

Acid mine drainage (AMD) is the most significant environmental pollution problem with a low pH (<4) and dissolved metals in runoff. AMD is former from three components, exposed acid rock contain sulphate, water and air. The exposed acid rocks (potential acidic forming) during mining activities create a chemical reaction with air and water can be from seepage and run off. The water overflow from pit lake has a pH around 2 – 4 and contain heavy metals, i.e. Al, Fe, Mn, Cu, and Zn. The methods of AMD treatments that are active and passive systems. This paper discusses the AMD treatment passive remediation using wetland system. Main factors passive removal of acidity and heavy metals using wetland system when determining type and size appropriate wetland system include the influent acidity, pH, redox state, water flow rates and retention times, the area available for wetland. The benefits of this study for passive AMD treatment using wetland can be used for further research to supporting the copper and gold mine closure program.

Keywords: wetland, passive reamediation, acid mine drainage (AMD)

1. Pendahuluan

Dampak lingkungan yang terjadi pada industri pertambangan bijih tembaga dan emas antara lain ialah kandungan logam terlarut dalam air tambang dan masalah air asam tambang. Pencemaran logam terlarut dan timbulnya air asam tambang disebabkan oleh adanya resapan atau rembesan air permukaan ke batuan yang mengandung sulfida, serta oksidasi dari batuan yang terkupas pada lereng dinding tambang. Pada umumnya kandungan logam terlarut dalam air tambang ialah Al, Fe, Cu, Ca, Mg, Na serta beberapa unsur minor lainnya [1]. Kandungan logam terlarut ini menyebabkan pencemaran air dan tanah selain itu air asam tambang (AAT) menjadi permasalahan serius pada aspek lingkungan penambangan biji tembaga - emas. Mineral sulfida dalam tambang yang terpapar oleh oksigen dan adanya air sebagai media pengurai logam terlarut, menyebabkan terjadinya oksidasi sehingga menghasilkan air asam mengandung sulfur dan melepaskan logam terlarut [2].

Salah satu penanganan penyebaran logam terlarut dan air asam tambang dilakukan dengan pengelolaan *wetland*. Pada awalnya *wetland* dimanfaatkan sebagai suatu sistem alami untuk tempat penampungan air limpasan permukaan seperti rawa, air payau, tanah gambut [3]. *Wetland* juga diterapkan di daerah kering untuk sarana air bersih [4]. Perkembangan selanjutnya dipakai untuk proses ekosistem

alami pada penetralan kualitas air seperti pH dan kandungan logam terlarut dalam air [2]. Tingkat keasaman air asam tambang berkisar 2 – 4 [5].

Pemanfaatan lahan basah untuk pengolahan air limbah bertujuan mengurangi dampak yang merugikan bagi manusia dan ekosistem tersebut telah dilakukan dua dekade terakhir ini di area penambangan terutama menangani air asam tambang untuk tambang batubara dan logam terlarut [6].

Penelitian tentang *wetland* terus berkembang. Air yang mengalir dalam suatu *wetland* berasal dari air permukaan dan air tanah. Penelitian tentang pemodelan *stochastic* mengembangkan sistem *wetland* dari air tanah [7]. *Wetland* juga diaplikasikan untuk mengelola pH air yang ekstrem [8]. Pengelolaan pencemaran air memakai *wetland* memakai teknologi pasif remediasi [8]. Teknologi konstruksi *wetland* bisa memisahkan logam terlarut seperti mineral Fe, Co, Ni, Mn.

Sumber air pada *wetland* berasal dari air hujan dapat meningkatkan ekosistem di lingkungan daerah kering, namun belum banyak dilakukan kajian hidrologi untuk penentuan debit air limpasan pada kolam bekas tambang (pit lake), oleh karena itu *wetland* sebagai sarana atau fasilitas untuk menguraikan logam terlarut dalam air dan sarana untuk menetralkan air asam tambang sangat diperlukan. Penggunaan *wetland* sebagai teknologi remediasi cukup efektif untuk pengolahan air yang tercemar, yaitu air asam tambang dan logam terlarut, namun demikian kandungan sulfida dan Fe (dalam pirit) menjadi penyebab pH rendah (asam) perlu dilakukan penelitian lebih detail. Pemilihan jenis tumbuhan pada *wetland* sebagai media penyerapan logam terlarut dan penetralan pH sesuai kondisi daerah penelitian memerlukan kecermatan dalam penelitian.

2. Metode Penelitian

2.1. Kajian Hidrologi

Kajian hidrologi bertujuan untuk menentukan debit air limpasan dari void, penguapan, penyerapan, perembesan air, debit pemompaan air tambang pada saat musim kemarau dan musim hujan. Area timbunan batuan waste juga diperlukan data mengenai hidrologi, untuk mengetahui besaran debit air rembesan dalam timbunan batuan waste yang mengandung pirit [9].

Banyak penelitian dikembangkan tentang kajian hidrologi dalam tambang namun pada umumnya dilakukan untuk penyaliran/pengeringan air tambang [1]. Mengetahui kerangka hidrogeologi daerah penelitian untuk mengetahui geometri daripada cekungan hidrogeologi, konfigurasi akuifer dan karakteristik, typical aliran air tanah dan neraca air. [10]. Kajian hidrogeologi mencakup evaluasi data mengenai topografi, geologi lokal dan regional, iklim dan hidrologi, litologi, sistem penambangan dan struktur geologi. Kajian hidrogeologi pada penelitian ini tidak dilakukan karena debit air tanah tidak signifikan. Pengukuran discharge seperti seepage, discharge daripada horisontal drain, mata air, air permukaan seperti sungai dan parit air hujan [10].

2.2. Desain wetland

Ye dkk., (2001) merancang dan mengevaluasi efektifitas *wetland* untuk memisahkan mineral Fe, Co, Ni, Mn dari sisa pembakaran batubara memakai tumbuhan air dalam penguraian logam-logam terlarut [12]. Efektifitas penyerapan logam dan penetralan air didasarkan juga oleh desain *wetland*. Ukuran *wetland* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dari Kickuth:

$$A_h = \frac{Q_d (\ln C_i - \ln C_e)}{K_{BOD}} \dots\dots\dots (1)$$

- A_h = Luas permukaan *wetland* (*Surface area of bed*) (m^2)
- Q_d = Debit rata-rata air limpasan (*average daily flow rate of sewage*) (m^3/d)
- C_i = Kebutuhan oksigen biokimia influent (*influent BOD₅ concentration*) (mg/l)
- C_e = Kebutuhan oksigen biokimia effluent (*effluent BOD₅ concentration*) (mg/l)
- K_{BOD} = Konstanta rata-rata (*rate constant*) (m/d)

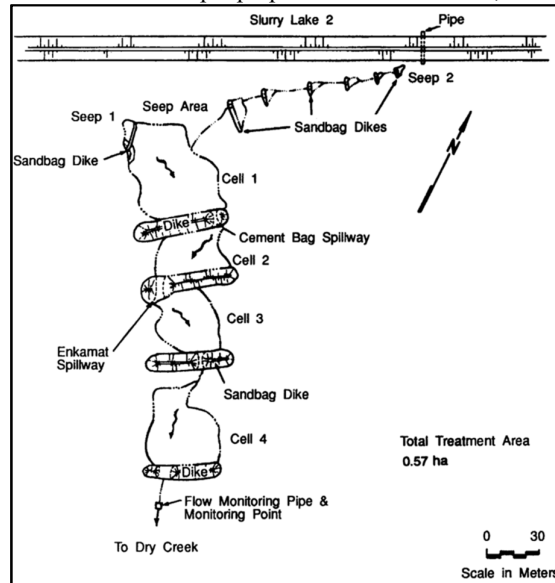
K_{BOD} dideterminasikan dari $K_T dn$, ialah:

- $K_T = K_{20} (1.06)^{(T-20)}$
- K_{20} = Konstanta rata-rata pada 20°C (*rate constant at 20°C*) (d^{-1})
- T = Temperatur tempat penelitian (*operational temperature of system*) (°C)
- d = kedalaman kolam air (*depth of water column*) (m)
- n = Porositas lapisan substrat (*porosity of the substrate medium*) (*percentage expressed as fraction*)

K_{BOD} ialah temperatur lokasi *wetland*, dan kenaikan BOD rata-rata berkisar 10% per °C. pada musim panas.

2.3. Konstruksi wetland Tennessee Valley

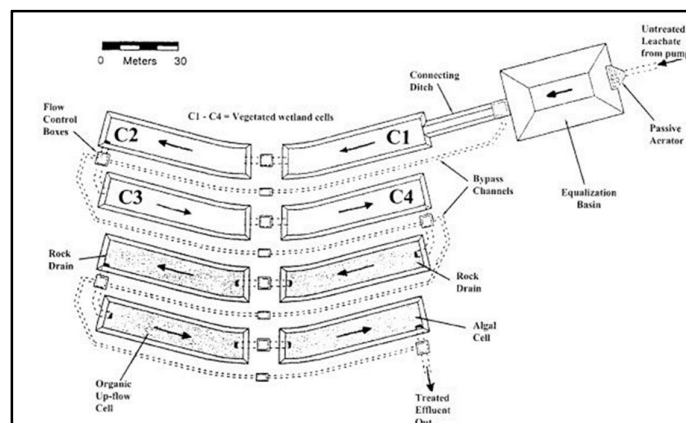
Konstruksi *wetland* di Tennessee valley, menggabungkan antara *wetland* yang sudah terjadi secara alami dengan *wetland* konstruksi untuk mengolah air asam tambang batubara dengan luas sekitar 1,5 ha. Gambar 3 adalah kedalaman air dalam natural *wetland* dan konstruksi *wetland* antara 15 hingga 30 cm yang dikembangkan dari tahun 1991 di tempat preparasi batubara Fabius, Tennessee Valley [11].



Gambar 1. Desain konstruksi *wetland* Fabius, Tennessee Valley [11]

2.4. Konstruksi wetland Springdale, Pennsylvania

Sebuah konstruksi *wetland* dibangun di Pembangkit Listrik Batubara di Springdale, Pennsylvania, yang bertujuan untuk mencegah pembakaran sendiri dari batubara yang larut dalam air terpapar matahari. Kemudian dikembangkan menjadi sistem remediasi pasif dengan jumlah 9 kompartemen [13], dibagi menjadi 3 kelompok sebagai fungsi dari remediasinya, kompartemen pertama adalah yang terbesar ukurannya sebagai kolam pengendap sedimen dan kompartemen 2 – 5 ditanami tumbuhan air Cattail (*Typha latifolia*) berfungsi menguraikan logam Fe dan Mn, kompartemen ke 6 – 8 sebagai penetral pH dengan struktur lapisan batu gamping, sedangkan 2 kompartemen berisi algae sebagai pengurai Co dan Ni tersisa [12].

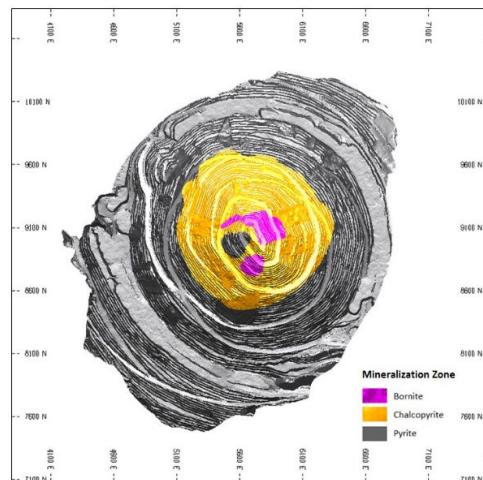


Gambar 2. Konstruksi *wetland* di Pembangkit Listrik Batubara, Springdale [12]

2.5. Kajian mineral sulfida dan logam terlarut

Air asam tambang dan metal terlarut adalah air limbah yang dihasilkan dari kegiatan penggalian karena batuan sulfat yang terkupas bereaksi dengan air dan oksigen membentuk asam sulfat. Air asam terbawa ke luar dari area pertambangan melalui penyaliran tambang menuju ke sungai atau danau terdekat

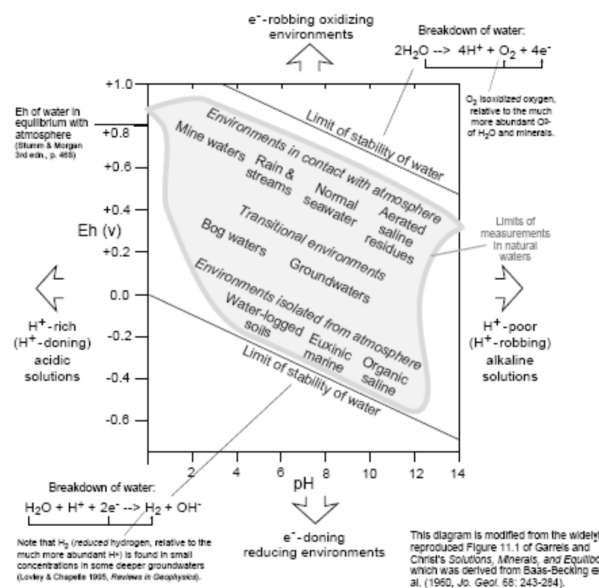
[10]. Penelitian ini dilakukan di tambang tembaga emas porfiri. Tambang tersebut menghasilkan air asam tambang sehingga berpotensi mencemari air limpasan tambang.



Gambar 3. Zona mineralisasi batuan di tambang terbuka tembaga dan emas [10].

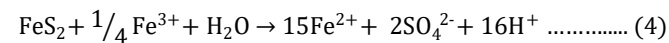
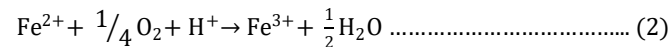
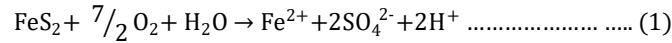
Air asam tambang sebagai pencemar yang memerlukan perhatian tersendiri karena sifatnya yang asam dan kandungan ion logam beracun (Fe, Zn, Cd, Cu, Pb), anion terlarut seperti sulfat, nitrat, klorida, arsenat serta adanya padatan terlarut [9]. Air limpasan dari tambang dengan kandungan logam tinggi disebabkan karena adanya oksidasi besi dari batuan pirit (FeS_2) dan mineral sulfide lainnya selama kegiatan penambangan berlangsung. Air asam tambang menimbulkan dampak negative terhadap lingkungan, seperti : meningkatnya kandungan logam dalam sistem akuatik, perubahan kandungan kimia dalam air, pengendapan logam (ferri hidroksida, aluminium hidroksida) menyebabkan berkurangnya cahaya untuk ekosistem air sehingga berkurangnya jumlah oksigen yang tersedia untuk ekosistem air dan mengubah kualitas air.

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara Eh (reduksi dan oksidasi) terhadap Ph (keasaman atau basa) air dalam beberapa kondisi. Air tambang kecenderungan melepaskan ion logam sehingga air berpotensi mengalirkan listrik lebih tinggi nilainya dari keadaan normal. Satuan Eh dinyatakan dalam volt pada umumnya air tambang berkisar + 0,4 sampai +0,9 volt, dengan pH antara 2 – 5 [13].



Gambar 4. Karakterisasi pH and Eh [13]

Mineral sulfida pembentuk asam antara lain pirit (FeS_2), chalcopyrit (CuFeS_2), molibdenit (MoS), galena (PbS), dan sfalerit (ZnS). Berdasarkan semua mineral sulfida tersebut, mineral pirit merupakan sulfida yang dominan dalam pembentukan asam. Proses pembentukan asam diuraikan dalam persamaan kimia [13], sebagai berikut:



Pada reaksi (1), pyrite teroksidasi membentuk asam (2H^+), sulfat dan besi ferrous (Fe^{2+}). Reaksi (2), besi ferrous akan teroksidasi membentuk besi ferri (Fe^{3+}) dan air pada suasana asam. Reaksi (3) besi ferri (Fe^{3+}) dihidroksida membentuk hidroksida besi dan asam. Pada reaksi (4), hasil reaksi (2) akan bereaksi dengan pirit yang ada, dimana besi ferri bertindak sebagai katalis sehingga terbentuk besi ferrous, sulfat dan asam.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian di daerah tangkapan air hujan area tambang terbuka dengan luas 400 ha dengan kandungan logam terlarut rata-rata Cu 5,38 mg/l, Fe 4,57 mg/l dan pH 4,1 (discharge lubang tambang), debit air limpasan tambang rata-rata 600 lt/detik.

Berdasarkan kajian desain wetland dipilih desain konstruksi wetland mengikuti desain Tennessee Valley. Elevasi limpasan daerah penelitian berjenjang untuk setiap kompartemen mengikuti kontur elevasi area wetland. Konstruksi wetland model Tennessee Valley yang mengolah air asam dari proses penambangan.

Luas area konstruksi wetland yang diterapkan seluas 2 ha dengan 4 kompartemen atau disebut juga cell. Berdasarkan item diatas, desain konstruksi wetland dengan 6 kompartemen seluas 3,5 ha dengan aliran air horisontal dari kompartemen pertama utk settling pond sebagai pengendapan, selanjutnya kompartemen 2 dan 3 sebagai penetral air asam dengan lapisan batu gamping, dan kompartemen 4 dan 5 sebagai pengurai logam dengan komposisi lapisan substrat kompos dan top soil untuk tumbuhan air pengurai logam Cu dan Mn, kompartemen ke 6 sebagai tempat monitor kualitas air sebelum melimpas ke sistem air secara natural.

Proses kimia dan biologi yang terjadi dalam konstruksi wetland di area penelitian tambang mineral untuk mengolah air asam tambang yang telah tercemar dalam sistem drainase tambang. Air limpasan dari lubang tambang tersebut mengandung alkalinitas yang rendah (rata-rata pH <4) memerlukan desain spesifik untuk setiap lokasi penambangan, dengan mempertimbangkan terutama tingkat keasaman air limpasan, kandungan logam terlarut serta debit air limpasan.

Kandungan kimia air limpasan tersebut sangat berpengaruh dalam desain konstruksi wetland untuk proses penyerapan dan penetralan air limpasan dari tambang. Beberapa pola desain dari wetland juga berhubungan dengan luas area wetland, dan penambahan batu gamping di aliran air setelah limpasan dari tambang sebagai alternative untuk menaikkan pH air. Alternatif lainnya yang diterapkan dengan membuat lapisan batu gamping pada konstruksi tanggul atau konstruksi bendungan kecil pada area limpasan di setiap kompartemen konstruksi wetland.

Pembuatan desain konstruksi wetland ini sebagai sistem remediasi pasif pengolahan air asam tambang. Penerapan sistem remediasi pasif sistem konstruksi *wetland* menjadikan dasar keputusan dalam program pascatambang untuk menjadikan lahan pascatambang yang berkelanjutan.

Keuntungan dalam menerapkan sistem konstruksi *wetland* dalam pengolahan air asam tambang adalah:

- Biaya pembuatan *wetland* lebih murah dari pada pembuatan pengelolaan dan pengolahan air asam tambang system aktif.
- Menggunakan proses alamiah
- Konstruksi, operational dan perawatan *wetland* yang mudah dibandingkan system lainnya.

Kerugian dalam menerapkan sistem *wetland*:

- Teknologi *wetland* baru dikenal dalam dua decade terakhir, sehingga penelitian mengenai tumbuhan air, dan penelitian luas *wetland*.
- Beberapa site pertambangan batubara yang sudah menerapkan system *wetland* tidak mempunyai kelengkapan data.
- Dibutuhkan area yang luas untuk membuat system remediasi pasif system konstruksi *wetland*.

4. Kesimpulan

Catchment area daerah penelitian tambang mineral tembaga pada penelitian ini seluas 400 ha, debit air limpasan rata-rata sekitar 600 lt/detik, kandungan logam terlarut kandungan logam terlarut rata-rata Cu 5,38 mg/l, Fe 4,57 mg/l dan pH 4,1 (discharge lubang tambang). Rancangan *wetland* diterapkan didaerah penelitian menggunakan remediasi pasif.

Saran untuk dapat dikembangkan kepenelitian selanjutnya mengenai struktur *wetland* adalah penelitian tumbuhan air yang tepat dalam proses penguraian logam terlarut dalam air serta peningkatan alkalinitas air.

Daftar Pustaka

- [1] Bargawa, W.S., Reklamasi dan Pascatambang, Prodi Teknik Pertambangan, UPN "Veteran", Yogyakarta, 2017.
- [2] Coulton R, Bullen C, Hallet C, The design and optimization of active mine water treatment plants, *Land Contam Reclam*, 2003, 11:273–279.
- [3] Djalilah, S.R., Sumarah, C.B, Sistem Pengelolaan Air Tambang pada Lingkungan Tambang Batu Hijau, *Seminar Air Asam Tambang & Reklamasi Lahan Bekas Tambang Indonesia*, Bandung, 2008,
- [4] Dzikus A., Singh K., Shresta R.R., *Constructed Wetlands Manual, UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme*, 2008, p.18-21.
- [5] Garcia C, Moreno D.A, Ballester A, Blazquez M.L, Gonzalez F, Bioremediation of an industrial acid mine water by metal-tolerant sulfate-reducing bacteria, *Miner Eng*, 2001, 14:997–1008.
- [6] Gazea B, Adam K, Kontopoulos A., a Review of passive systems for the treatment of acid mine drainage, *Miner Eng*, 1996, 9:23–42.
- [7] Hallberg K.B, Johnson D.B, Microbiology of a *wetland* ecosystem constructed to remediate mine drainage from a heavy metal mine, *Sci Total Environ*, 2005, 338:53–66.
- [8] Idrus A., Kolb J., Meyer F.M., Arif J., Setyandhaka D., Kepli S., A Preliminary Study on Skarn-Related Calc-silicate Rocks Associated with the Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa Island, Indonesia, *The Resource Geology*, 2009, Vol.59, No.3:295-306.
- [9] Tsukamoto T-K, Miller G-C, Methanol as a carbon source for microbiological treatment of acid mine drainage, *Water Res*, 1999, 33:1365–1370.
- [10] _____, *Laporan Rencana Penutupan Tambang PT Newmont Nusa Tenggara*, 2011.
- [11] Mays. P.A., Edwards. G.S., Comparison of heavy metal accumulation in a natural *wetland* and constructed *wetlands* receiving acid mine drainage, *Ecological Engineering* 16, 2001, page 487–500.
- [12] Ye, Z. H., Whiting, S. N., Lin, Z. Q., Lytle, C. M., Qian, J. H., Terry, N., 2001, Removal and distribution of iron, manganese, cobalt, and nickel within a Pennsylvania constructed *wetland* treating coal combustion by-product Leachate *Journal of Environmental Quality*, p.1464-1473.
- [13] Railsback, L.B., *Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry*, Department of Geology, University of Georgia, Athens, Georgia 30602-2501, 2006.