

PERFORMA *SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND* MENGUNAKAN TANAMAN MELATI AIR DAN MEDIA TANAM ZEOLIT DALAM MENGOLAH LIMBAH CAIR TAMBANG EMAS RAKYAT

¹Angge Dhevi Warisaura, ²Agus Prasetya

¹Mahasiswa Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Universitas Gadjah Mada

²Dosen Departemen Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2 Yogyakarta55281

Telp. 0274-555320

angge.dhevi@gmail.com

ABSTRAK

PERFORMA *SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND* MENGGUNAKAN TANAMAN MELATI AIR DAN MEDIA TANAM ZEOLIT DALAM MENGOLAH LIMBAH CAIR TAMBANG EMAS RAKYAT. Pengolahan emas rakyat pada umumnya menggunakan merkuri (Hg) yang sering disebut proses amalgamasi. Pemakaian merkuri ini mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan terutama perairan akibat *release* Hg ketika proses amalgamasi. Berdasarkan hal tersebut, telah dilakukan penelitian perancangan pengolahan limbah cair yang mengandung Hg dengan memanfaatkan teknologi sederhana dan sumber daya alam yang mudah didapatkan. Teknologi pengolahan yang dilakukan adalah menggunakan sistem *wetland*artifisial aliran *Subsurface flow* (SSF) yang berisi tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dengan media tanam zeolit. Model sistem SSF ini mempunyai dimensi 820 mm x 320 mm x 585 mm terdiri dari 3 zona, yaitu zona inlet, zona reaksi dan zona outlet. Pada zona reaksi ditanamkan Melati Air dengan luasan 0,0896 gr/cm² pada zeolit ukuran 4-18 mesh. Air limbah Hg simulasi dengan konsentrasi 14,94 mg/L dialirkan secara *up-flow* menuju zona reaksi menggunakan pompa. Untuk keperluan penentuan performa sistem, operasi dijalankan 12 jamkontinu dan 12 jam *batch*selama 3 hari. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi removal Hg menggunakan sistem SSF ini mencapai 91,99%, sehingga konsentrasi akhir rata-rata Hg = 1,20 mg/L.

Kata Kunci : *Constructed Wetland*, SSF, melati air, Hg.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF THE *SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND* USING *ECHINODORUS PALAEFOLIUS* AND ZEOLITE PLANT MEDIA IN ARTISANAL SMALL SCALE GOLDMINING WASTEWATER. Processing of gold in artisanal small scale generally uses mercury (Hg) which is often called the process of amalgamation. The use of mercury make degradation of environmental quality especially waters due to Hg release during amalgamation process. Based on this, has been conducted research design of wastewater containing Hg treatment by utilizing simple technology and natural resources that are easily obtained. Processing technology that had established is using wetland system with subsurface flow (SSF) which contains *Echinodorus palaefolius* plant with zeolite planting medium. This SSF system model has dimensions of 820 mm x 320 mm x 585 mm consisting of 3 zones, namely inlet zone, reaction zone and outlet zone. In the reaction zone implanted *Echinodorus palaefolius* with an area of 0.0896 gr / cm² on zeolite size 4-18 mesh. The simulated Hg wastewater with concentration of 14,94 mg / L is passed with *up-flow* to the reaction zone using the pump. For the purposes of determining system performance, operation runs 12 hours of continuous and 12 hours of batch for 3 days. The results showed that Hg removal efficiency using SSF system reached 91.99%, so the final average concentration of Hg = 1.20 mg / L.

Keywords : *Constructed Wetland*, SSF, *Echinodorus palaefolius*, Hg.

PENDAHULUAN

Dengan potensi batuan mineral emas yang tinggi, Indonesia menjadi penyumbang cemaran merkuri (Hg) pada air dan tanah terbesar ketiga di dunia [1]. Modal dan teknologi yang minim tidak menjadi hambatan untuk melakukan penambangan yakni melalui penambangan emas skala kecil atau penambangan emas rakyat atau tradisional (*Artisanal Small Scale Gold Mining-ASGM*). Di Indonesia, jumlah kegiatan tambang skala kecil ada 713 lokasi yang tersebar di Jawa, Sumatra, Kalimantan, dan Sulawesi dengan 60.000 penambang skala kecil [2]. Penambangan melalui metode ini banyak menggunakan merkuri dalam

pengolahan bijih emasnya. Penggunaan merkuri bertujuan untuk mengekstrak emas dari bijih dengan membentuk amalgam yang merupakan campuran antara merkuri dan emas dengan jumlah perbandingan yang sama. Amalgam yang telah terbentuk kemudian dipanaskan untuk menguapkan merkuri dari campuran, sehingga hanya emas yang akan tersisa. Merkuri yang menguap akhirnya mengendap di tanah *tailing* dan masuk ke badan perairan. Dalam perairan, merkuri bereaksi dengan komponen perairan, menjadi terendapkan ke dasar perairan kemudian diubah oleh organisme anaerobik menjadi metil merkuri. Dalam air, metil merkuri diserap oleh fitoplankton, tertelan oleh

zooplankton dan ikan sehingga mencemari rantai makanan.

Penambangan emas primer yang relatif baru yaitu sekitar lima tahun terakhir terdapat pada penelitian Fahmi et al (2014) yaitu pada area tambang rakyat Paningkaban-Cihonje dan sekitarnya di Desa Paningkaban, Desa Cihonje dan Desa Gancang, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. Kadar rata-rata merkuri pada seluruh sampel tailing di lokasi tersebut sebesar 126,761 ppm, sedangkan pada sampel tanah/batuan memiliki rata-rata kadar merkuri sebesar 72,800 ppm. Nilai rata-rata kadar merkuri terendah dijumpai pada sampel air sungai, yaitu sebesar 1,003 ppm dan pada sampel air tanah sebesar 0,867 ppm[3]. Sementara diketahui menurut lampiran Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kriteria mutu air berdasarkan kelas untuk parameter merkuri (Hg) adalah 0,001 mg/L untuk kelas I, 0,002 mg/L untuk kelas II dan III, serta 0,005 mg/L untuk kelas IV. Hal ini menandakan bahwa konsentrasi merkuri di daerah tersebut sudah melebihi ambang batas[4].

Berdasarkan kondisi di atas, metode pengolahan limbah cair tambang emas rakyat yang efektif efisien penting dikaji untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan kualitas hidup di sekitar penambangan emas. Beberapa metode pengolahan limbah cair telah diaplikasikan untuk menangani permasalahan limbah cair tambang emas rakyat, termasuk salah satunya menggunakan *Constructed Wetland* yang merupakan salah satu metode alternatif dalam pengolahan limbah cair yang meniru proses purifikasi alami pada daerah rawa atau lahan basah. Dibandingkan dengan pengolahan limbah konvensional yang menggunakan bahan kimia, proses ini lebih sederhana, murah dan ramah lingkungan. Ada 2 tipe dari *Constructed Wetland* berdasarkan lokasi pengaturan aliran yaitu : (1) *Surface Flow* (SF) dan (2) *Subsurface Flow* (SSF), jika berdasar tipe tanaman yang digunakan, dibagi menjadi : (1) *floating aquatic plant system* (2) *submerged aquatic plant system* dan (3) *amphibious aquatic plant system*[5]. Setiap jenis *wetland* mempunyai spesifikasi tanaman tertentu dengan yang akan bekerja menyerap polutan. SSF-CW memiliki beberapa keunggulan dibanding tipe lainnya menurut Kadlec and Knight (1996), antara lain : (1) konstruksi sederhana, (2) dapat ditempatkan dimana saja (*indoor atau outdoor*) (3) sistem operasi yang leluasa (sistem gravitasi maupun sistem pompa) (4) biaya murah (5) tidak timbul bau selama kontak dengan udara (6) performa

sistem dapat diandalkan (7) tidak timbul populasi nyamuk dan (8) penampilan serupa kebun sehingga punya nilai estetika[6]. Setiap jenis *wetland* mempunyai spesifikasi tanaman tertentu dengan yang akan bekerja menyerap polutan. Pada *Sub Surface Flow* air tidak menggenangi di atas media tanam, tetapi air mengalir di bawah media tanam sehingga tanaman yang sesuai adalah jenis tanaman air *emergent*, yaitu setengah tenggelam dalam air sehingga sering disebut *amphibious aquatic plant*. Salah satu tanaman *emergent* yang cukup potensial sebagai penyerap logam berat adalah melati air (*Echinodorus palaefolius*).

Aplikasi *Sub Surface-Flow Constructed Wetland* (SSF-CW) yang telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir antara lain untuk pengolahan *leachate* tempat pembuangan akhir sampah melalui proses fitoremediasi dengan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dan media tanam zeolit yang dipaparkan oleh Suharto dkk (2011). Eksperimen secara *batch* dan kontinyu telah dilakukan dengan hasil terbaik penurunan kadar Pb mencapai 82,2% pada sistem *batch*, dan hasil terbaik penurunan Cr sebesar 61,2% pada sistem kontinyu [7]. Untuk tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) berdasar penelitian Caroline dan Arron (2015) mampu menurunkan konsentrasi timbal (Pb) hingga < 0,0764 mg/L dari konsentrasi awalnya sebesar 1,638 mg/L dengan waktu paparan 18 hari [8]. Pernyataan ini didukung oleh hasil penelitian Malik dkk (2016) yang menunjukkan bahwa tanaman *Echinodorus palaefolius* mampu mengakumulasi logam kromium sebesar 6,12 ppm dan mampu menurunkan konsentrasi kromium dalam limbah cair tekstil dari 1,21 mg/L menjadi 0,03 mg/L [9].

Pada penelitian ini akan dilakukan kajian eksperimental perancangan alat SSF-CW skala laboratorium menggunakan tanaman melati air sebagai fitoremediator dan zeolit sebagai media tanam. Kajian eksperimental ini bertujuan untuk menentukan performa SSF-CW dalam menurunkan kadar merkuri limbah cair dengan meninjau efisiensi *removal* merkuri. Performa SSF-CW yang baik tentu akan dapat memberikan informasi alternatif pengolahan limbah cair mengandung Hg, terutama limbah cair tambang emas rakyat.

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan sebagai limbah cair pertambangan emas rakyat dibuat dari reagen HgCl₂ p.a EMSURE (MERCK). Untuk keperluan tanaman SSF-CW digunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) berumur 3

bulan dengan ukuran seragam, segar, bebas hama, tanpa kehilangan akar maupun bunganya, didapat dari kebun milik toko tanaman "Studio 4" Gembiraloka yang berlokasi di Jl. Wonosari, Berbah, Sleman, Yogyakarta. Zeolit alam yang dipakai sebagai media adalah zeolit tipe modernit yang diperoleh dari Klaten, Jawa Tengah.

Alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah reaktor SSF-CW yang terdiri dari plat berbahan akrilik tebal 1 mm dengan dilengkapi plat yang memiliki lubang-lubang, pipa PVC, pompa, dan kran. Sampling untuk pengukuran kadar merkuri dapat dilakukan dari bak tampungan pipa outlet.

Prosedur kerja

Tahapan penelitian meliputi beberapa tahap antara lain :

1. Tahap Perancangan Alat SSF-CW Skala Laboratorium

Tahap ini merupakan proses pembuatan rangkaian reaktorskala laboratorium untuk mensimulasikan model sistem SSF-CW dengan memperhatikan parameter desain *wetland* yang telah ada sebelumnya.

2. Tahap Preparasi Larutan Limbah Merkuri

Air limbah merkuri dibuat dengan melarutkan sejumlah massa $HgCl_2$ murni ke dalam 1 liter volume aquadest untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan dalam mg/L (ppm). Konsentrasi merkuri yang digunakan dalam perlakuan yaitu 15 ppm sebanyak volume yang dibutuhkan.

3. Tahap Penyiapan Media Zeolit

Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam yang diperoleh dari Klaten, Jawa Tengah. Sebelum dimasukkan ke dalam reaktor, zeolit diambil 500 gram untuk dianalisis distribusi ukuran butirnya dengan cara mengayaknya dalam *sieve tray* ukuran 4-18 mm.

4. Tahap Pengoperasian SSF-CW

Tahap ini merupakan proses pengoperasian reaktor yang telah berisi tanaman melati air dan zeolit sesuai kapasitas dari desain reaktor yang dibuat.

Pengondisian SSF-CW

Sebelum dipakai, SSF-CW dipastikan tidak memiliki celah yang memungkinkan air limbah merembes. Jika terjadi rembesan, maka dilakukan *sealing* dengan lem silikon. Setelah lolos uji kebocoran, reaktor diisi media zeolit

yang sudah dianalisis distribusi ukuran butirnya, ketebalan media disesuaikan dengan desain reaktor yang dibuat yaitu 40 cm.

Tahap Aklimatisasi Tanaman

Tahapan ini merupakan tahap adaptasi tanaman terhadap reaktor SSF-CW dimana media tanaman dari pembibitan dipindah ke sebuah reaktor agar dapat menyesuaikan diri dari lingkungan baru dan dapat bertahan hidup. Tahap aklimatisasi ini dilakukan terhadap media penelitian yaitu zeolit. Pada tahap aklimatisasi terhadap media, tanaman ditumbuhkan dalam media zeolit untuk mengetahui ketahanan tanaman terhadap bahan penelitian. Penanaman disesuaikan dengan panjang dan lebar desain reaktor. Tahap ini dilangsungkan selama 30 hari dengan sirkulasi air ledeng secara berkala.

Pengoperasian SSF-CW

Sampel air limbah merkuri dengan konsentrasi tertentu dipompa ke dalam reaktor menggunakan pompa peristaltik secara *up-flow*, inlet berada pada bagian reaktor paling bawah dan outlet pada bagian atas. Pemompaan sampel air limbah dilakukan dengan pengaturan debit pemompaan sesuai dengan variasi waktu detensi yang diinginkan. Pada penelitian ini operasi dijalankan secara semi kontinu, dialirkan batch selama 12 jam dan kontinu selama 12 jam. Air limbah dialirkan dari bak penampungan awal dengan debit 127 mL/menit.

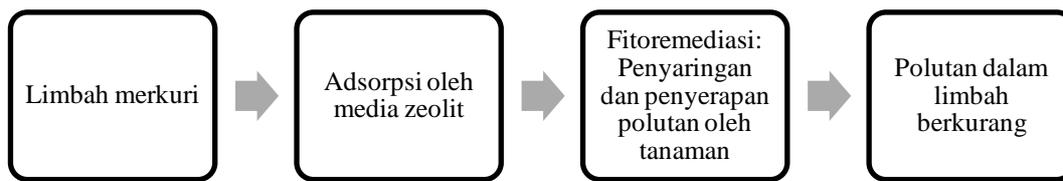
Pengambilan sampel hasil olahan SSF-CW

Pada aliran kontinu, setiap 1 kali masa tinggalnya yaitu 4 jam sekali dilakukan pengambilan sampel pada outlet SSF-CW untuk dianalisis kadar merkuri menggunakan *Mercury Analyzer* sesuai dengan metode SNI 6989.78 : 2011 di LPPT Universitas Gadjah Mada. Sedangkan pada aliran *batch* diambil sampel awal dan akhir proses batch. Efisiensi penurunan kadar merkuri dapat ditentukan dengan membandingkan antara penurunan kadar merkuri setelah proses *wetland* terhadap kadar merkuri dalam limbah cair awal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan SSF-CW.

Constructed Wetland yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *Sub Surface Flow* dengan aliran *upflow*, artinya dikontakkan terlebih dahulu dengan media zeolit kemudian naik menuju zona perakaran tanaman untuk kemudian keluar menuju *outlet*. Adapun skema yang diinginkan adalah sebagai berikut :



Sehingga dari standar parameter desain tersebut, dapat disusun karakter desain dari reaktor yang digunakan dalam penelitian ini :

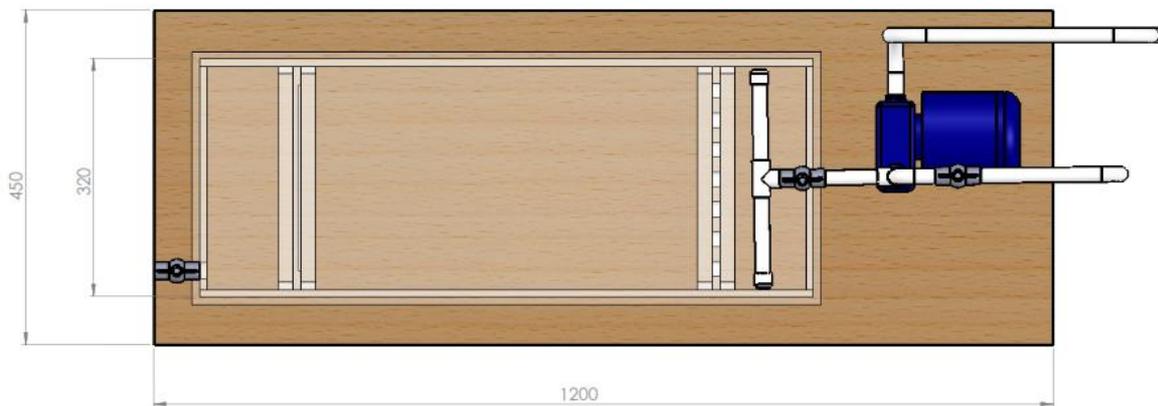
Ukuran reaktor, dimana rasio panjang : lebar = 2 : 1

Tanaman *Echinodorus palaefolius* ditanam pada reaktor dengan luasan 0,0896 gr/cm²

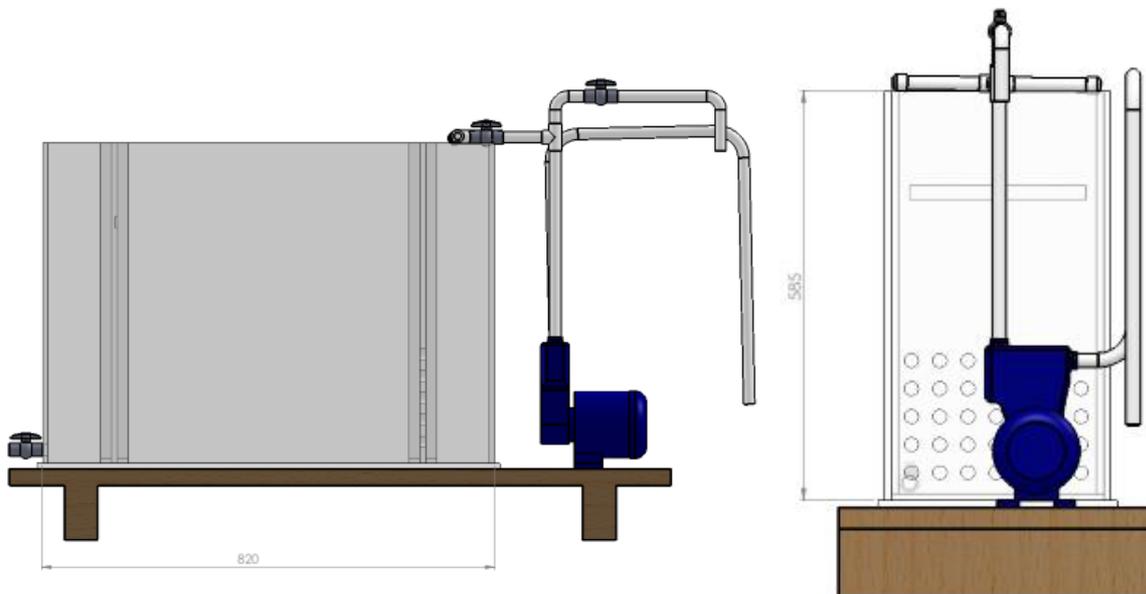
Zeolit dengan distribusi ukuran 4-18 mesh

Adapun kondisi penelitian dijalankan di dalam laboratorium berupa ruang tertutup dengan pengontrolan cahaya dan sirkulasi udara.

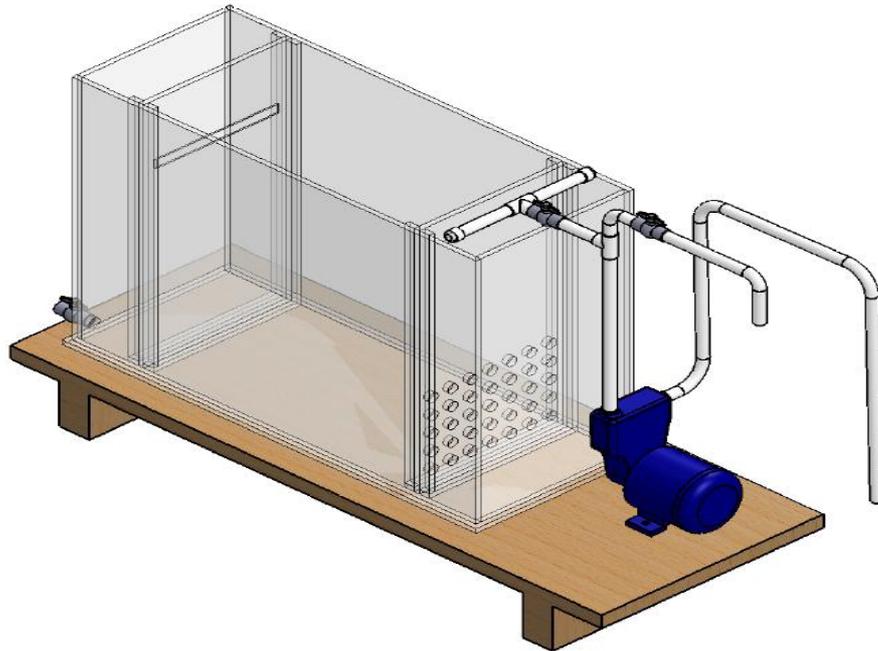
Berikut pada Gambar 1.1, Gambar 1.2 dan Gambar 1.3 disajikan ilustrasi alat yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar1.1 *Subsurface Flow Constructed Wetland* Tampak Atas



Gambar1.2 *Subsurface Flow Constructed Wetland* Tampak Samping



Gambar 1.3 Subsurface Flow Constructed Wetland Tampak Keseluruhan

Performa SSF-CW

Model *Constructed Wetland* sistem SSF ini mempunyai dimensi 820 mm x 320 mm x 585 mm terdiri dari 3 zona, yaitu zona inlet, zona reaksi dan zona outlet. Pada zona reaksi ditanamkan Melati Air dengan luasan 0,0896 gr/cm^2 pada zeolit ukuran 4-18 mesh. Adapun untuk menentukan performa SF-CW dapat

melihat efisiensi *removal* merkuri (Hg). Efisiensi penurunan kadar merkuri dapat ditentukan dengan membandingkan antara penurunan kadar merkuri setelah proses *wetland* terhadap kadar merkuri dalam limbah cair awal. Berikut pada Tabel 1.1 kadar merkuri pada *influen* dan *effluen* reaktor simulasi sistem pengolahan limbah cair tambang emas.

Tabel 1. Hasil uji konsentrasi merkuri per hari

Hari	Detention Time (jam)	Konsentrasi Hg influen (mg/L)	Konsentrasi Hg effluen (mg/L)	% removal
1	0	0	0	0,00
	4	14,94	0,02	99,87
	8	14,94	1,10	92,64
	12	14,94	1,36	90,90
2	0	14,94	0,83	94,44
	4	14,94	1,17	92,17
	8	14,94	1,81	87,88
	12	14,94	0,94	93,71
3	0	14,94	1,03	93,11
	4	14,94	1,50	89,96
	8	14,94	1,89	87,35
	12	14,94	1,52	89,83
Rerata			1,20	91,99

KESIMPULAN

Sistem *Subsurface Flow Constructed Wetland* menggunakan tanaman melati air dan media tanam zeolit efektif dan dapat digunakan untuk mengolah limbah cair tamban gemasyarakat berdasarkan uji performa *Subsurface Flow Constructed Wetland* skala laboratorium mampu menurunkan kadar merkuri hingga kadar *effluen* rata-rata 1,20 ppm dengan prosentase penurunan kadar merkuri sebesar 91,99%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Departemen Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada dan Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta yang telah memberikan bantuan dana untuk pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. UNEP. *Global Environment Outlook 3, Past, present and future perspectives., 2002.* Earthscan Publications Ltd : London
2. C. Aspinall. Small-scale Mining in Indonesia," *International Institute for Environment and Development, Mining Minerals and Sustainable Development Report.* Jakarta, 2001.
3. Fahmi, F.L dkk. Dampak Pencemaran Merkuri Terhadap Media Geologi Pada Pertambangan Rakyat Di Banyumas, Jawa Tengah. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-7 Universitas Gadjah Mada, 2014.
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air
5. Metcalf and Eddy., *Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Fourth Edition.* Mc Graw Hill. California, 2003.
6. Kadlec, R.H and Knight, R.L. *Treatment Wetlands.* CRC Press, Lewis Publisher. Boca Raton Florida, 1996.
7. Suharto dkk. Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr Leachate Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum Hyemale*) dan Zeolit. *Agrointek* volume 5 no.2, 2011.
8. Caroline, Jenny dan Moa, G.A. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya ISBN 978-602-98569-1-0, 2015.
9. Malik, RA dkk. Potensi Tanaman Air Sebagai Fitoakumulator Logam Kromium Dalam Limbah Cair Tekstil. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (JRTPPI)* e-ISSN 2503-5010, 2016.