



Pengurangan Kadar *Chrom* dari Limbah Cair Industri Menggunakan Sistem *Sub-Surface Flow Constructed Wetland* (Ssf-Cw) dengan Tanaman Akar Wangi pada Media Kerikil dan Granul *Fly Ash*

Nur Hayati Hasanah^{1*}, Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah¹, Agus Prasetya¹

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, 55281, Indonesia

*E-mail: nurhayati98@mail.ugm.ac.id

Abstract

Sub-Surface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) is one of the engineered of sewage treatment systems built and designed involving aquatic plants, soil or other media and related microbes, with more controlled treatment using sub-surface flow types. The purpose of this study was to determine the ability of aquatic plants to reduce of chromium (Cr) in wastewater, to understand the effect of fly media ash and gravel media in the constructed wetland system in reducing chrom in wastewater. The Constructed Wetland was designed made of plastic with the Sub-Surface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) model with 3 zones, zone 1 which is inlet zone and zone 3 which is outlet having dimensions of 37 x 54.5 x 60 cm, while zone 2 which is a reaction zone with dimensions 75 x 52.6 x 43.5 cm. The results showed that overall chrom removal from wastewater in RI, RII, RIII was 85.76, 93.24, and 74.69%, respectively. During the study, there was a growth of the plants, indicated by the presence of new shoots and an increase in the weight of plants. The kinetic model for reducing chromium content in wastewater at the RI, RII and RIII reactors follows the first order equation with a value of k value of 5.3411; 2,4006; and 0.1330.

Keywords: SSF-CW; chrom removal; fly ash; aquatic plants

Pendahuluan

Meningkatnya kegiatan manusia dapat menimbulkan berbagai macam masalah, salah satunya adalah tercemarnya air. Air limbah adalah cairan atau buangan dari rumah tangga, industri maupun tempat-tempat umum lainnya yang mengandung bahan – bahan yang dapat membahayakan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lain serta mengganggu kelestarian lingkungan (Hidayah and Aditya, 2010). Pencemaran air yang mengakibatkan penurunan kualitas air dapat berasal dari limbah terpusat dan limbah tersebar. Limbah terpusat seperti limbah industri, peternakan, perhotelan dan rumah sakit. Limbah tersebar seperti limbah pertanian, perkebunan, dan domestik (Asmadi and Suharno, 2012). Industri penyamakan kulit (IPK) merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup besar, yaitu dalam bentuk padat, cair dan gas. Limbah penyamakan kulit mengandung Cr yang sangat beracun dan dapat menyebabkan berbagai macam penyakit seperti iritasi kulit, mata, dan dapat menyebabkan gangguan saluran pencernaan (AS, Salimin and Junaidi, 2013).

Sub-surface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) adalah salah satu teknologi pengolahan limbah cair yang dapat dijadikan sebagai alternatif dengan melibatkan tanaman air, tanah atau media lain dan mikroba terkait, dengan perlakuan lebih 2 terkontrol dengan tipe aliran bawah permukaan (Suswati, Purna and Wibisono, 2013). Dalam penelitian ini, *Sub-surface flow Constructed Wetland* menggunakan tanaman Akar Wangi (*Vetiveira zizanioides L*). Keunggulan tanaman ini sebagai hiperakumulator adalah dapat tumbuh pada berbagai kondisi lingkungan. Media yang digunakan adalah *fly ash* dalam bentuk granul dan kerikil. Keberadaan komponen silika dan alumina memungkinkan *fly ash* untuk dapat dijadikan material yang strukturnya mirip dengan zeolit. Struktur zeolit yang berpori merupakan sifat yang dapat dimanfaatkan sebagai material adsorben (Fauzan, Aman and Drastinawati, 2014). Kedua material ini digunakan sebagai adsorben untuk menjerap logam Cr. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman air terhadap kecepatan dan pengurangan Cr dalam limbah cair, serta mengetahui pengaruh media granul *fly ash* dan kerikil pada sistem *constructed wetland* dalam menurunkan kadar Cr pada limbah cair.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Pusat Inovasi Agroteknologi Universitas Gadjah Mada (PIAT UGM) yang beralamat di Desa Kalitirto, Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Bahan yang digunakan adalah air limbah krom yang dibuat dari reagen $K_2Cr_2O_7$ p.a (Emsure (Merck)), tanaman Akar Wangi (*Vetiveira zizanioides L*) dengan ukuran seragam, segar dan tanpa kehilangan akar, *fly ash* limbah sisa pembakaran batubara dan aquades. Alat



yang digunakan adalah sebuah reaktor berbahan plastik yang mempunyai 3 zona, zona 1 yang berupa *inlet* dan zona 3 berupa *outlet* mempunyai dimensi 37 X 54,5 X 60 cm sedangkan zona 2 yang berupa zona reaksi dengan dimensi 75 X 52,6 X 43,5 cm.

Tahap Preparasi Limbah Cair

Limbah cair dibuat secara artifisial dengan melarutkan 1,414 gr $K_2Cr_2O_7$ murni ke dalam 1 liter akuades untuk mendapatkan larutan induk konsentrasi 500 mg/L. Kemudian untuk memperoleh larutan dengan konsentrasi 15 mg/L dibutuhkan larutan induk sebanyak 3 ml dan akuades 97 ml untuk total kebutuhan 100 ml (Nurfitriyani, Wardhani and Dirgawati, 2013).

Tahapan Penyiapan Tanaman Akar Wangi

Bibit tanaman akar wangi yang digunakan tingginya disesuaikan dengan kapasitas reaktor SSF-CW dan sebelum diaklimatisasi, tanaman dicuci terlebih dahulu untuk menghilangkan pengotor yang menempel. Penimbangan berat basah dilakukan pada tanaman sebelum dan setelah pengoperasian untuk mengetahui besar penyerapan Cr pada tanaman.

Tahap Penyiapan Media Granul Fly Ash dan Kerikil

Sebelum digunakan, granul *fly ash* diambil sebanyak 100 gr untuk analisis karakterisasi komponen kimia dan unsur oksidanya menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Kerikil yang digunakan berupa kerikil dari batuan sungai. Sebelum dimasukkan ke reaktor, kerikil dicuci terlebih dahulu supaya terbebas dari tanah yang menempel.

Tahap Pengoperasian Constructed Wetland

a. Pengkondisian Constructed Wetland

Constructed Wetland yang digunakan berjumlah 3 buah, dengan variasi media yang berbeda yaitu:

- RI : Berisi media granul *fly ash* dan kerikil dengan perbandingan 1:1 serta tanaman akar wangi
- RII : Berisi media granul *fly ash* dan kerikil dengan perbandingan 2 :1 serta tanaman akar wangi
- RIII : Berisi media kerikil dan tanaman akar wangi

b. Aklimatisasi Tanaman

Aklimatisasi tanaman dilakukan pada masing-masing reaktor selama 30 hari dengan sirkulasi air bersih yang terus menerus.

c. Pengoperasian SSF-CW

Langkah operasi dimulai dari sampel air limbah yang mengandung Cr yang dimasukkan ke dalam bak kemudian disirkulasikan menggunakan pompa air dengan aliran kontinyu.

Pengamatan Data Penelitian

Pengukuran kadar Cr pada air dilakukan dengan mengambil sampel *outlet* dilakukan pada awal sebelum air limbah dimasukkan ke reaktor dan pada hari ke 0; 2; 4; 6; 8; 10; 12. Pengukuran kadar Cr pada media granul *fly ash*, kerikil dan tanaman akar wangi dilakukan pada awal sebelum dan sesudah percobaan. Pengambilan sampel Cr pada tanaman dilakukan untuk bagian akar dan daun.

Analisis Data

Persentase penurunan logam Cr dalam SSF-CW dapat diperoleh dengan perhitungan menggunakan rumus:

$$\text{Penyisihan (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

C_0 = Konsentrasi Cr sebelum perlakuan (mg/L)

C_t = Konsentrasi Cr sesudah perlakuan (mg/L).

Studi Kinetika Penurunan Kadar Cr dengan Sistem SSF-CW

Studi kinetika penyisihan kadar Cr pada sistem SSF-CW menggunakan orde = 1 dan orde # 1 dengan persamaan (2) dan (3) untuk melihat model mana yang paling mendekati data pengamatan dan akan digunakan sebagai model kinetika penyisihan Cr dalam SSF-CW.

$$n = 1; \ln(C - C_\infty) = -kt + K \quad (2)$$

$$n \neq 1; (C - C_\infty)(1 - n) = -k(1 - n)t + K' \quad (3)$$

Hasil dan Pembahasan

Aklimatisasi tanaman dilakukan selama 30 hari. Saat aklimatisasi berlangsung, kondisi perkembangan tanaman selalu diawasi. Kondisi tanaman sesudah aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan bahwa tanaman akar wangi dapat tumbuh di ketiga reaktor dengan kombinasi media yang berbeda. Hal ini ditandai dengan munculnya tunas baru pada tanaman. Akar wangi membutuhkan waktu 10-14 hari untuk membentuk tunas baru dari rumpun induk secara meluas. Pertumbuhan akar wangi yang ditanam pada media campuran kerikil dan granul *fly ash*, tidak secepat pertumbuhan akar wangi yang ditanam pada media kerikil saja. Pertumbuhan akar pada tanaman akar wangi dengan media kerikil lebih banyak daripada akar wangi pada camp-



(a)



(b)

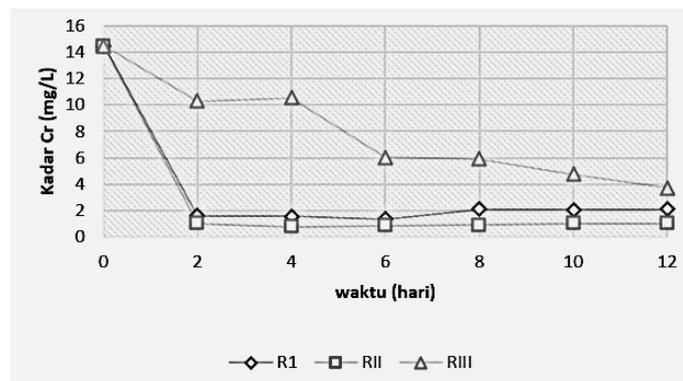


(c)

Gambar 1. Aklimatisasi tanaman pada setiap reaktor (a) RI (b) RII (c) RIII

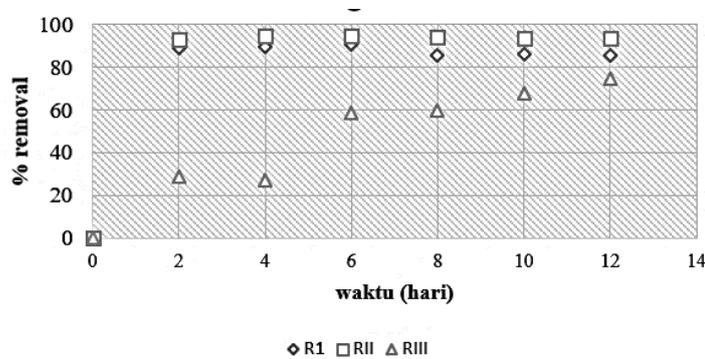
-uran media granul *fly ash* dan kerikil. Media tanam yang bersifat porous memungkinkan tanaman cepat mengalami kehilangan air akibat evaporasi dan drainase ke bawah karena besarnya pori makro yang dimiliki oleh media. Kehilangan air tanaman mengindikasikan terjadinya penurunan potensial air pada daun akibat penurunan kadar air media. Tanaman yang mengalami penurunan ketersediaan air, akan mengalami pertumbuhan akar yang lebih cepat, sedangkan pertumbuhan tajuk tertekan. Hal ini diperlukan untuk menjaga keseimbangan air dalam tubuh tanaman melalui reduksi permukaan daun dan mempertahankan perkembangan akarnya sehingga tanaman mampu menyuplai air dengan cukup (ANNET and Naranjo, 2014)

Studi Penyisihan Cr



Gambar 2. Penurunan kadar Cr pada setiap reaktor

Gambar 2. Menunjukkan bahwa proses penurunan kadar Cr di RIII dengan fitoremediasi berjalan lebih lambat karena beberapa proses yang terjadi pada tanaman saat menyerap logam yaitu penyerapan oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian lain tanaman dan lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Dalam proses ini tanaman berusaha untuk mencegah keracunan logam terhadap sel nya dengan cara menimbun logam pada bagian tertentu seperti pada akar agar tidak menghambat proses metabolisme tanaman (Patandung, HS and Aisyah, 2016). Pada RI dan RII penurunan kadar Cr cukup signifikan, namun pada RII penurunan kadar Cr lebih besar daripada RI. Hal ini karena efek jumlah media granula *fly ash* pada RII lebih banyak dari RI sehingga kapasitas penyerapannya lebih besar. Kadar Cr pada akhir percobaan yaitu 2,0671 mg/L pada RI 0,9811 mg/L pada RII dan 3,6750 mg/L pada RIII.



Gambar 3. Efisiensi penurunan kadar Cr pada setiap reaktor

Gambar 3. Menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan Cr terus mengalami peningkatan sampai akhir percobaan. Penyisihan Cr pada proses kombinasi adsorpsi dan fitoremediasi di RI dan RII mengalami fluktuatif karena *fly ash* mengalami waktu jenuh. Waktu jenuh adalah keadaan dimana konsentrasi tidak mengalami perubahan bahkan setelah waktu tertentu, *fly ash* abu terbang mengalami desorpsi yaitu melepaskan kembali zat warna yang telah diadsorpsi karena pori-pori abu terbangnya telah jenuh oleh zat warna (Mufrodi, Widiastuti and Kardika, 2008). Pada akhir percobaan, efisiensi penyisihan pada RI 85,76%, RII 93,24% dan RIII 74,69%.

Tabel 1. Akumulasi Cr pada RI

Bagian tanaman/media	Sebelum pengoperasian SSF-CW		Setelah pengoperasian SSF-CW		Cr terjerap		Cr akumulatif
	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/g	
Akar	0,713	0,000713	45,83	0,04583	45,81	0,04581	1,6034
Daun	0,0696	0,0000696	25,96	0,02596	25,89	0,02589	2,6926
Granul <i>fly ash</i>	6,22	0,00622	85,8	0,0858	79,58	0,07958	2188,45
Kerikil	0,839	0,000839	24,31	0,02431	23,47	0,02347	645,4525

Tabel 2. Akumulasi Cr pada RII

Bagian tanaman/media	Sebelum pengoperasian SSF-CW		Setelah pengoperasian SSF-CW		Cr terjerap		Cr akumulatif
	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/g	
Akar	0,713	0,000713	30,76	0,03076	30,74	0,03074	1,6908
Daun	0,0696	0,0000696	24,84	0,02484	24,77	0,02477	2,9476
Granul <i>fly ash</i>	6,22	0,00622	28,8	0,0288	22,58	0,02258	931,425
Kerikil	0,839	0,000839	2,15	0,00215	1,311	0,001311	18,0262

Tabel 3. Akumulasi Cr pada RIII

Bagian tanaman/ media	Sebelum pengoperasian SSF-CW		Setelah pengoperasian SSF-CW		Cr terjerap		Cr akumulatif
	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/g	
Akar	0,713	0,000713	125,36	0,12536	125,34	0,12534	8,0219
Daun	0,0696	0,0000696	56,76	0,05676	56,69	0,05669	7,0296
Granul <i>fly ash</i>	-	-	-	-	-	-	-
Kerikil	0,839	0,000839	1,946	0,001946	1,107	0,001107	60,885

Tabel 1, 2, dan 3 menunjukkan bahwa tanaman akar wangi dan granula *fly ash* mampu menyerap logam Cr dalam limbah cair. Bagian tanaman yang paling banyak menyerap Cr yaitu pada akar. Hal ini karena tanaman menimbun

logam pada akar agar tidak mengganggu proses metabolisme tanaman (Patandungan, HS and Aisyah, 2016). Rata-rata konsentrasi Cr yang terjerap pada akar yaitu 67,3 mg/kg. Sedangkan rata-rata konsentrasi Cr terjerap di daun yaitu 35,78 mg/kg.

Tabel 4. Hasil perhitungan C_{∞} konstanta k, dan SSE pada SSF-CW

Reaktor	C_{∞} (mg/L)		k (hari)		SSE	
	n=1	n=2	n=1	n=2	n=1	n=2
RI	1,7649404	1,7625322	5,3411006	55,105505	0,5648905	0,5661145
RII	0,8735769	0,8893871	2,4006485	77,102006	0,0418069	0,0517011
RIII	1,0124791	0,00000001	0,13300264	0,01273154	4,93121618	6,53549862

Tabel 4. Menunjukkan hasil perhitungan C_{∞} konstanta k, dan SSE pada semua reaktor. Pada RII untuk n=1 menunjukkan nilai SSE paling kecil yaitu 0,0418069 dengan nilai k sebesar 2,4006485/hari. Sedangkan pada RIII untuk n=2 menunjukkan nilai SSE paling besar yaitu 6,53549862 dengan nilai k=0,01273154/hari. Nilai SSE ini menggambarkan kedekatan hubungan data eksperimen dengan data model. Semakin kecil nilai SSE semakin baik datanya karena semakin kecil kesalahannya. Nilai k merupakan konstanta kecepatan laju penurunan kadar Cr. Semakin kecil nilai k, semakin lambat penurunan kadar Cr.

Kesimpulan

Kemampuan tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanoides L*) dalam menurunkan kadar Cr pada sistem SSF-CW secara fitoremediasi di RIII yaitu 74,69%. Penggunaan media granul *fly ash* dan kerikil dengan tanaman akar wangi (*Vetiveria Zizanoides L*) pada sistem SSF-CW (RII) merupakan kombinasi yang paling efektif dalam menurunkan kadar Cr dengan efisiensi sebesar 93,24% selama 12 hari. Kinetika penurunan kadar Cr dalam air limbah pada Reaktor RI, RII dan RIII mengikuti persamaan orde 1 dengan nilai k sebesar 5,3411; 2,4006; dan 0,1330.

Daftar Pustaka

- ANNET, N. and Naranjo, J. (2014) '*Vetiver (Vetiveira Zizanoides (L) Nash) Cultivation in Container: Effect of Media Compositon And Number of Seedling Planted*', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), pp. 2071–2079.
- AS, M.G., Salimin, Z. and Junaidi (2013) 'Pengolahan Logam Berat Khrom(Cr) Pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Dengan Proses Koagulasi Flokulasi Dan Presipitasi', 2, pp. 1–8.
- Asmadi and Suharno (2012) *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Fauzan, A., Aman and Drastinawati (2014) 'Pemanfaatan Fly Ash Batu Bara Sebagai Adsorben Logam Berat Ion Pb²⁺ Yang Terlarut Dalam Air', 1.
- Hidayah, E.N. and Aditya, W. (2010) 'Potensi dan Pengaruh Tanaman Pada Pengolahan Air Limbah Domesik Dengan Sistem Constructed Wetland.', *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2 No 2.
- Mufrodi, Z., Widiastuti, N. and Kardika, R.C. (2008) 'Adsorpsi Zat Warna Tekstil Dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) Untuk Variasi Massa Adsorben Dan Suhu Operasi', *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Kimia dan Tekstil*, pp. 90–93.
- Nurfitriyani, A., Wardhani, E. and Dirgawati, M. (2013) 'Penentuan Efisiensi penyisihan Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) dengan Adsorpsi Menggunakan Tempurung Kelapa Secara Kontinyu', *Reka Lingkungan*, 20(10), pp. 1–12. Available at: <http://lib.itenas.ac.id/kti/wp-content/uploads/2014/03/Anita-Jurnal-Online-20-11-2012.pdf>.
- Patandungan, A., HS, S. and Aisyah (2016) 'Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan TPA Tamangapa Antang Makassar'.
- Suswati, Purna, A.C.S. and Wibisono, G. (2013) 'Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air(Constructed Wetlands)', 2, pp. 70–77.