

POTENSI DAN PENGARUH TANAMAN PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH PULP DAN KERTAS DENGAN SISTEM LAHAN BASAH

Sri Purwati*, Aep Surachman
*Balai Besar Pulp dan Kertas, Bandung
e-mail : bbpk@bbpk.go.id

THE INFLUENCE AND POTENCY OF PLANT IN THE PULP AND PAPER EFFLUENT TREATMENT BY WETLAND SYSTEM

ABSTRACT

*Research on the pulp and paper effluents treatment by the wetland system process using mendong plant was conducted. Experiment was carried out in a laboratory scale to study the influence of plant on the treatment efficiency of waste water. The potency of plant in the wetland system was also studied both the effects on the land quality and the plant yields. The experiment results showed that treatment by the wetland system process using mendong plant can increase the efficiency of pollutant removal in the waste water. At the retention time of 30 hours and the organic loading rate of 0.5 gr COD/m³, day, the treatment system could increase removal of COD 11 – 13 %, BOD 15 -16%, Lignin 3 – 4% and Na 20-33%. The treatment system, can also improve land quality, increase vegetative growth and productivity of the plant. Finally, based on heavy metal analysis, it shows that mendong plant (*Fimbristylis globulosa*) is able to absorb heavy metal, especially Chromium (Cr) and Cadmiun (Cd) at 39-50% efficiency.*

Keywords : Waste water treatment, wetland system, plant, pollutants, organic substance, heavy metal.

INTISARI

Penelitian pengolahan airlimbah pulp dan kertas dengan proses sistem lahan basah yang menggunakan tanaman mendong (*Fimbristylis globulosa*) telah dilakukan dalam skala laboratorium. Pengaruh dan potensi tanaman telah dipelajari melalui pengamatan efisiensi pengolahan air limbah dan juga efeknya terhadap kualitas tanah serta pertumbuhan tanaman. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan menggunakan tanaman dalam sistem lahan basah dapat meningkatkan efisiensi reduksi kandungan pencemar dalam air limbah. Pada laju beban organik 0,5 gr COD/m³, hari, dengan waktu tinggal 30 jam dapat meningkatkan reduksi COD 11 – 13%, BOD 15-16%, lignin 3- 4% dan natrium 20-30%. Keunggulan pengolahan air limbah dengan sistem ini adalah kualitas tanah jadi meningkat sehingga meningkatkan produktivitas tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut. Selain itu diperoleh hasil bahwa tanaman mendong mempunyai kemampuan menyerap logam berat khususnya Chromium (Cr) dan Cadmium (Cd) yang terkandung dalam air limbah dengan efisiensi reduksi 39 – 50%.

Kata kunci : Pengolahan air limbah, sistem lahan basah, tanaman, pencemar, bahan organik, logam berat

PENDAHULUAN

Berbagai teknologi pengolahan air limbah telah dilakukan baik yang berbasis proses fisika, kimia maupun biologi. Dari teknologi berbasis biologi diantaranya sistem lahan basah telah dikenal sebagai teknologi tepat guna yang memanfaatkan potensi alam yang ada, yaitu yang terdiri dari tanah, air, tumbuhan, mikroorganisma dan kehidupan lain

di air dan tanah. Kesederhanaan di dalam kontruksi dan cara mengoperasikannya maka IPAL dengan bioteknologi ini patut dikembangkan dan diterapkan di industri agro termasuk industri pulp dan kertas yang memiliki kapasitas kecil namun mempunyai lahan yang cukup luas.

Pada umumnya industri pulp dan kertas skala kecil menengah seperti industri kertas sembahyang (*joss paper*) tidak dilengkapi dengan unit pemulihan bahan kimia. Namun demikian lindi hitam hasil perendaman bahan baku (batang bambu) didaur ulang untuk merendam kembali bahan baku yang baru melalui proses soda dingin. Walaupun proses penggunaan kembali lindi hitam dilakukan secara berulang, pada akhirnya setiap periode satu minggu sekali akan dibuang sebagai air limbah ke lingkungan. Air limbah ini sangat tinggi beban pencemarannya sehingga harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu bersama-sama dengan air limbah yang dihasilkan dari unit pembuatan kertas.

Permasalahan yang dihadapi oleh industri kecil menengah selain keterbatasan biaya adalah tidak terjaminnya kontinuitas proses produksi yang akan mempengaruhi pula ketidakstabilan terhadap kualitas air limbahnya. Peraturan lingkungan yang makin ketat, diperlukan upaya peningkatan sistem pengolahan yang lebih menjamin terpenuhinya kualitas air limbah yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan baku mutu. Pengolahan air limbah dengan bioteknologi yang sederhana dan murah tapi efektif yaitu dengan menggunakan sistem lahan basah yang dikombinasi dengan pertumbuhan tanaman adalah merupakan solusi yang perlu dikembangkan untuk stabilisasi air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip pengolahan air limbah untuk lahan basah secara umum memanfaatkan beberapa unsur alam yang secara sinergi berperan dalam mendegradasi cemaran yang terkandung dalam air limbah. Unsur tersebut adalah tanah yang berperan sebagai media tumbuh tanaman dan penyerap bahan cemaran. Unsur lain adalah mikroorganisme yang berperan sebagai pendegradasi atau pengurai bahan yang dirubah menjadi bahan yang lebih sederhana, dan unsur tanaman memanfaatkan hasil biodegradasi tersebut sebagai unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya (Robert L.K., 1994).

Dari penelitian terdahulu telah diperoleh gambaran mengenai potensi dan hambatan yang ada pada pengolahan air limbah pulp dan kertas dengan sistem lahan basah. Berdasarkan potensinya yang cukup prospektif, maka dengan sistem lahan basah dimungkinkan untuk melakukan sinergi antara pengolahan dan

pemanfaatan air limbah sebagai media tumbuh tanaman produktif. Berdasarkan pada kemampuan tanaman, maka dalam penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan metoda pengolahan air limbah sistem lahan basah dengan menggunakan jenis tanaman yang memiliki kemampuan tumbuh tinggi dan bernilai ekonomi.

Jenis tanaman yang dikenal dengan nama "Mendong" atau *Fimbristylis globulosa* adalah termasuk tanaman biasa tumbuh di areal lahan basah, yang banyak dibudidayakan masyarakat untuk industri kecil pembuatan tikar selain itu juga potensial sebagai sumber serat untuk bahan baku pembuatan pulp dan kertas.

Teknologi pengolahan air limbah dengan sistem lahan basah sudah diaplikasikan di beberapa industri walaupun rancangan dan operasinya masih konvensional. Salah satu industri pulp dan kertas di Indonesia secara tidak disadari telah menerapkan pengolahan air limbahnya dengan sistem lahan basah ini. Pemanfaatan air limbah oleh masyarakat setempat untuk irigasi pesawahan adalah penerapan pola lahan basah. Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan dapat diperoleh data-data yang cukup representatif yang menunjukkan terjadi penurunan kadar pencemar air limbah yang digunakan sebagai air irigasi yang telah melewati air pesawahan. Besarnya penurunan kadar BOD dalam air limbah bisa mencapai 30 – 45 % dan TSS 60 – 85 %. Sedangkan analisis dari hasil panen tanaman padi menunjukkan peningkatan produktivitas 45 – 60 %. Potensi yang ada tersebut masih didukung oleh data sekunder dari para petani yang menyatakan bahwa pemanfaatan air limbah sebagai irigasi dapat menurunkan kebutuhan pupuk hingga 25% (UNEP-NIEM, 1996).

Penggunaan teknologi dengan sistem lahan basah untuk pengolahan air limbah perlu mempertimbangkan beberapa faktor yang dapat menjadi kendala dalam pengoperasiannya. Kontruksi bak dibuat dengan ran-cangan yang memungkinkan pola aliran tidak terjadi hambatan. Pengaturan ketinggian level air diatur konstan dan tidak lebih dari 60 cm untuk menunjang kehidupan makhluk hidup didalamnya. Komposisi media tanah yang memungkinkan tidak terjadi penyumbatan aliran namun juga harus dapat mendukung tanaman untuk dapat tumbuh lebih baik (Hardiani, 2001). Selain faktor tersebut diatas, faktor lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa kekurangan

oksigen pada lahan basah dapat menyebabkan kondisi anaerobik yang dapat menghasilkan gas beracun dan tumbuhnya bakteri patogen yang akan mengganggu kehidupan lainnya. Keberhasilan pengolahan air limbah dengan sistem lahan basah ditentukan oleh pengaturan kondisi operasi diantaranya oleh waktu tinggal dan beban organik serta dipengaruhi oleh karakteristik air limbahnya yaitu sifat bahan organik dan anorganik, dan termasuk kandungan logam beratnya (Metcalf & Eddy, 2003).

BAHAN DAN METODA

Bahan

Air Limbah

Air limbah yang digunakan dalam percobaan adalah air limbah pabrik kertas sembahyang (*joss paper*) yang menggunakan proses soda dingin dan mendaur ulang kembali lindi hitam untuk perendaman bahan baku. Air limbah ini adalah campuran dari lindi hitam yang sudah mengalami pengolahan proses anaerobik konvensional dengan waktu tinggal 20 – 30 hari yang hasil olahannya terencerkan dengan air limbah dari proses pembuatan kertas. Air limbah campuran ini pun sudah mengalami proses pengolahan secara kimia dengan penambahan alum, namun kualitas air limbah yang dihasilkan belum memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Media Lahan Basah

Sebagai media lahan basah digunakan campuran tanah dan pasir dengan komposisi 1 : 1. Penentuan komposisi ini diperoleh dari hasil penelitian terdahulu yang merupakan kondisi yang terbaik, yaitu mampu sebagai filtrasi dan dapat mengurangi terjadinya penyumbatan aliran (Hardiani, 2001). Tanah dan pasir diambil dari lokasi sekitar pabrik dimana air limbahnya digunakan sebagai percobaan.

Tanaman

Tanaman yang digunakan adalah yang dikenal dengan nama “mendong” atau *Fimbristylis globulosa*. Tanaman ini dipilih berdasarkan kemampuan tumbuhnya yang cepat terutama di tanah basah (becek) dan mempunyai akar serabut yang sangat lebat sehingga penyerapan terhadap bahan pencemar sebagai unsur hara yang dibutuhkan relatif besar. Selain itu tanaman ini dibudidayakan oleh masyarakat

untuk bahan tikar dan bahan kerajinan kain, juga berpotensi sebagai bahan berserat untuk bahan baku pulp dan kertas. Keunggulan lain adalah cara penanamannya mudah, dapat dipanen sampai tiga kali per perioda tanam.

Konstruksi Lahan Basah

Percobaan skala laboratorium ini menggunakan konstruksi bak yang dibuat dari bahan akrilik dengan ukuran 100 cm x 30 cm x 40 cm yang terbagi atas ruang pengumpan (*feeding*), bagian lahan basah dan penampung hasil olahan.

Metoda

Tahapan percobaan yang dilakukan meliputi :

a. Karakterisasi Air Limbah dan Tanah.

Terhadap air limbah dilakukan analisa parameter pencemar, untuk dasar pengaturan kondisi operasi beban organik. Media tanah, pasir dan campuran keduanya dianalisa untuk mengetahui tekstur dan kandungan unsur hara yang terkandung di dalamnya.

b. Percobaan Pengolahan

Pengaliran air limbah ke bak lahan basah di atur debitnya pada laju beban sekitar 0,5 g COD/m³, hari yang didasarkan atas kondisi terbaik pada penelitian sebe-lumnya. Perlakuan percobaan terdiri dari :

- Pola alir, meliputi aliran horizontal dan vertikal ke bawah
- Tanpa dan dengan tanaman.

c. Pengamatan dan Evaluasi

Pengamatan terhadap air limbah, dilakukan analisa inlet dan outlet untuk mengetahui efisiensi penurunan kadar pencemar meliputi parameter pH, TSS, COD, BOD, lignin, Na, serta logam berat. Pengamatan terhadap pertumbuhan tana-man dilakukan melalui pengukuran tinggi tanaman, jumlah anakan dan berat bio-masa tanaman serta analisa logam berat. Pengamatan terhadap tanah dilakukan sebelum dan setelah percobaan, meliputi kandungan unsur hara makro dan mikro serta logam berat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Air Limbah dan Media Tanah

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sistem pengolahan air

limbah yang ada di pabrik yang kualitasnya belum memenuhi persyaratan baku mutu air limbah yang boleh dibuang ke lingkungan. Karakteristik air limbah sebelum diolah dengan percobaan sistem lahan basah dapat dilihat pada tampilan Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Air Limbah Sebelum Diolah dengan Sistem Lahan Basah.

Parameter	Satuan	Nilai Uji	Baku mutu PP 51/95. Lamp.B
PH	-	7,5	6 – 9
TSS	mg/L	127,5	100
BOD	mg/L	215,2	100
COD	mg/L	544,9	200
Lignin	mg/L	138,6	-
Na	mg/L	43,0	-

Berdasarkan hasil uji pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan bahan pencemar dalam air limbah masih cukup tinggi. Seluruh parameter belum memenuhi persyaratan baku mutu menurut PP.51/95, untuk air limbah kertas.

Bila ditinjau dari nilai BOD dan COD maka rasio BOD/COD memberikan nilai 0,39, yang berarti bahwa senyawa organik dalam air limbah tersebut adalah dominan dengan organik kompleks yang bersifat sulit didegradasi oleh mikroorganisme (*nonbiodegradable*). Hal ini bisa dilihat pula dari kadar lignin dalam air limbah yang masih cukup tinggi (138,6 mg/L), yang menunjukkan bahwa bagian dari senyawa organik yang bersifat *nonbio-degradable* di dalam air limbah masih cukup besar. Demikian pula halnya dengan unsur natrium (Na) terlihat kadarnya juga cukup tinggi. Unsur Na ini berasal dari bahan kimia NaOH yang ditambahkan pada proses perendaman soda dingin, yang didalam air limbah sebagian besar Na terikat di dalam persenyawaan organik lignin. Tanah yang digunakan sebagai media didalam sistem lahan basah ini dicampur dengan pasir pada perbandingan 1 : 1, untuk mendapatkan tekstur dan stuktur media yang baik sebagai media filter dan juga sebagai media tumbuh tanaman. Karakteristik tanah, pasir dan media campurannya ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Tanah, Pasir dan Media Dengan Komposisi Tanah : Pasir = 1 : 1.

Parameter	Satuan	Jenis		
		Tanah	Pasir	Campuran
Tekstur				
pasir	%	36	78	63
debu	%	25	14	23
liat	%	39	8	14
pH				
H ₂ O	-	6,8	7,1	7,3
KCl	-	5,8	6,5	6,3
Karbon	%	1,55	0,45	0,58
Hara makro				
N	%	0,09	0,01	0,03
P	mg/100g	12,0	15,4	13,8
K	mg/100g	0,48	0,19	0,28
Hara mikro				
Ca	me/100g	14,09	2,27	6,34
Mg	me/100g	4,17	0,30	1,67
Na	me/100g	0,69	0,15	0,23
Fe	mg/100g	1,8	2,7	1,5
Mn	mg/100g	15,5	2,6	3,8
Cu	mg/100g	0,6	2,5	0,8
Zn	mg/100g	29,4	0,6	6,8
S	mg/100g	138,1	1,7	3,3
Al	mg/100g	23,9	33,9	31,4
KTK	me/100g	18,29	5,16	7,14

Berdasarkan atas analisa tekstur tanah maka tanah yang bertekstur liat dicampur dengan pasir yang teksturnya pasir berlempung menjadi suatu media tanah yang memiliki tekstur lempung berpasir. Tekstur media tanah yang digunakan ini menjadi lebih baik sifatnya yaitu merupakan tekstur tanah yang mendekati kondisi ideal untuk pertumbuhan tanaman dari kemampuannya mengikat unsur-unsur hara. Demikian pula dengan adanya kandungan pasir membuat media tanah campuran pasir ini memiliki daya perkolasi tinggi dan memperkecil terjadi penyumbatan (Winarso, 2005).

Namun jika ditinjau dari analisa unsur-unsur haranya maka media campuran tanah dan pasir ini termasuk katagori tanah yang miskin unsur hara baik unsur makro maupun unsur hara mikro. Selain itu juga nilai kapasitas tukar kation (KTK) sangat rendah, dengan nilai KTK 7,14 menunjukkan bahwa tanah campuran pasir tersebut memiliki kesuburan rendah. Kondisi ini didukung pula dari hasil analisa kandungan carbon sebagai komponen bahan organik yang relatif rendah. Diharapkan dengan karakteristik seperti tersebut diatas maka media tanah ini sesuai digunakan dalam pengolahan air limbah sistem lahan basah.

Percobaan Pengolahan Air Limbah

Percobaan pengolahan skala laboratorium dilakukan dengan menggunakan model sistem lahan basah yang terdiri atas dua buah reaktor yang masing-masing diisi dengan media tanah (campuran tanah + pasir 1 : 1) setinggi 20 cm. Dari dua buah model tersebut yang satu ditumbuhkan tanaman mendong (*Fimbristylis globulosa*) dan lainnya tanpa tanaman. Pada awalnya ditambahkan air bersih sampai tergenang dengan ketinggian air 20 cm, hingga media tanah terjenuhi.

Pengaliran air limbah kedalam media lahan basah dilakukan setelah pertumbuhan tanaman baik dengan perakaran lebat. Pola aliran air limbah masuk diatur sebagai variasi perlakuan yaitu secara horizontal dan aliran vertical dari atas ke bawah. Kecepatan aliran atau debit air limbah masuk sistem pengolahan diatur pada debit 30 ml/menit untuk mendapatkan laju pembebanan sekitar 0,5 g COD/m³.hari (Hopkint, 1999).

Kualitas Air Limbah Sistem Lahan Basah Tanpa Tanaman

Dari pelaksanaan percobaan setelah mencapai kondisi stabil, dilakukan analisa yang data- data kualitas air limbah awal dan hasil pengolahan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 : Kualitas Air Limbah Awal dan Setelah Pengolahan Lahan Basah Tanpa Tanaman

Parameter	Awal	Horizontal		Vertikal Ke Bawah	
		Nilai	% Red	Nilai	% Red
PH	7,5	6,9	-	7,1	-
TSS, ppm	127,5	30,4	76,16	36,5	71,37
BOD, ppm	215,2	94,7	55,99	105,6	50,93
COD,ppm	544,9	141,7	74,05	163,2	70,05
BOD/COD	0,39	0,67	-	0,65	-
Lignin,ppm	138,6	14,5	89,54	15,8	88,60
Na, ppm	43,0	21,5	50,00	29,4	31,63

Pengolahan lahan basah pada dasarnya merupakan stabilisasi yang menggabungkan antara proses anaerobik dan aerobik. Kondisi anaerobik terjadi di bagian dasar, proses aerobik berlangsung di permukaan, sedangkan di bagian tengah terjadi proses fakultatif. Data Tabel 3 menunjukkan efisiensi reduksi pencemar cukup efektif, yaitu dapat mereduksi TSS 71 – 76 %, BOD 50 – 56 %, dan COD 70 – 74 %. Penurunan kadar lignin yang merupakan senyawa organik kompleks lebih dominan yaitu mencapai reduksi hingga 88 – 90 %. Dalam sistem lahan basah tersebut senyawa lignin yang teruspensi tertahan pada partikel tanah yang berperan sebagai filter, sedangkan senyawa lignin yang terlarut didegradasi oleh mikroorganisma anaerobik menjadi senyawa organik yang lebih sederhana yang bersifat *biodegradable* dan terdeteksi sebagai BOD. Kondisi ini didukung dari rasio BOD/COD air limbah terolah meningkat lebih besar menjadi 0,65 – 0,67 dibandingkan air limbah awal yang memiliki rasio BOD/COD 0,39. Ditinjau dari pada pola alir limbah terlihat bahwa aliran air limbah yang masuk secara horizontal ke dalam lahan basah ternyata lebih efektif penurunan kadar pencemarannya dari pada yang mengalir secara vertikal kebawah.

Dengan aliran dari atas berarti kontak awal berlangsung dalam kondisi aerobik, dimana proses biodegradasi hanya terbatas pada senyawa organik sederhana saja. Setelah aliran mencapai bawah baru mulai terjadi biodegradasi terhadap senyawa organik kompleks seperti lignin. Berbeda halnya dengan yang terjadi pada pola aliran horizontal, dimana proses berlangsung secara simultan antara kondisi aerobik dan anaerobik sehingga proses biodegradasi menjadi lebih besar.

Kualitas Air Limbah Dari Sistem Lahan Basah Dengan Tanaman.

Fungsi tanaman yang tumbuh didalam sistem lahan basah diharapkan dapat meningkatkan proses penyerapan terhadap bahan-bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah setelah mengalami proses biodegradasi. Data-data kualitas air limbah dapat dilihat pada Tabel 4. Dibandingkan terhadap perlakuan tanpa tanaman ternyata pada perlakuan yang sinergi dengan tanaman peran dan kontribusi tanaman dalam proses penyerapan bahan pencemar cukup efektif yaitu dapat menambah besar efisiensi reduksi TSS sekitar 8 – 9 %, BOD antara 15 -16 %, dan COD berkisar 11 – 13 %, sedangkan lignin 3 - 4 % dan Na cukup tinggi hingga 20 – 33 %. Berarti hasil proses biodegradasi oleh mikroorganisma dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhan unsur hara makro dan unsur hara mikro selama masa pertumbuhannya. Hal ini

terjadi karena tanah yang digunakan sebagai media tumbuh termasuk miskin unsur hara sehingga tanaman mengambil hara esensial yang berasal dari air limbah. Keadaan ini didukung oleh keberadaan dan aktifitas mikroorganisme yang saling bersinergi dengan tanaman sehingga mampu merombak senyawa organik yang kompleks menjadi sederhana dan mengubah keberadaan unsur hara menjadi tersedia dan dapat diserap oleh tanaman. Indikasi yang terlihat adalah rasio BOD terhadap COD didalam air limbah meningkat menjadi 0,75 – 0,76, dibandingkan dari perlakuan tanpa tanaman yang rasio BOD/COD 0,65 – 0,67. Berarti pada perlakuan tanpa tanaman yang rasio BOD / COD nya 0,65 – 0,67 menunjukkan kandungan senyawa organik dalam air limbah lebih dominan dengan senyawa organik yang masih bersifat *biodegradable*.

Secara umum efektivitas pengolahan air limbah dengan sistem lahan basah yang dilengkapi dengan pertumbuhan tanaman terbukti cukup tinggi sehingga produktif di aplikasikan dalam skala pabrik. Pada kondisi operasi beban organik 0,5 g COD/m³, hari dan dengan media yang menggunakan campuran tanah-pasir 1 : 1 serta dilengkapi pertumbuhan tanaman dapat menghasilkan kualitas air limbah yang memenuhi persyaratan baku mutu. Keunggulan lain yang dapat diperoleh adalah produktivitas tanaman yang dapat dimanfaatkan dan bernilai ekonomi.

Tabel 4. Kualitas Air Limbah Setelah Pengolahan Lahan Basah Dengan Pertumbuhan Tanaman

Parameter	Awal	Horizontal		Vertikal Ke Bawah	
		Nilai	% Reduksi	Nilai	% Reduksi
PH	7,5	6,8	-	6,7	-
TSS, mg/l	127,5	20	84,31	25	80,39
BOD, mg/l	215,2	62,3	71,05	69,3	67,79
COD, mg/l	544,9	81,7	85,01	92,4	83,04
Ratio					
BOD/COD	0.39	0.76	-	0.75	-
Lignin, mg/l	138,6	10,7	92,28	9,2	93,36
Na, mg/l	43,0	12,7	70,46	15,2	64,65

Kualitas Tanah

Media tanah yang digunakan dalam sistem lahan basah telah diketahui sebelumnya bahwa kualitasnya tergolong sebagai tanah yang kandungan haranya rendah. Media tanah tersebut setelah dialiri air limbah yang berlangsung selama perioda percobaan sekitar 3 bulan, dianalisis kualitasnya yang datanya ditampilkan pada Tabel 5.

Ditinjau dari tekstur tanah telah terjadi perubahan tekstur, yaitu yang semula memiliki tekstur lempung berpasir menjadi tekstur lempung liat berdebu. Perubahan tekstur tersebut sama untuk media lahan basah tanpa tanaman maupun yang dengan pertumbuhan tanaman. Pada tekstur tanah terjadi peningkatan kadar liat yang disebabkan oleh terikatnya senyawa lignin didalam partikel-partikel tanah. Selama pengaliran air limbah, senyawa lignin tertahan oleh tanah, yang terlihat dari penurunan kadar lignin dalam air limbah yang cukup besar.

Tabel 5 : Analisis Media Tanah Setelah Pengaliran Air Limbah

Parameter	Satuan	Perlakuan	
		Tanpa tanaman	Dengan tanaman
Tekstur pasir	%	59	51
debu	%	20	23
liat	%	21	26
pH			
H ₂ O	-	7,1	7,7
KCl	-	4,0	7,0
Karbon	%	1,25	1,3
Hara makro			
N	%	0,10	0,12
P	mg/100g	22,8	25,0
K	mg/100g	0,72	0,66
Hara mikro			
Ca	me/100g	11,17	13,75
Mg	me/100g	3,12	3,67
Na	me/100g	1,29	1,67
Fe	mg/100g	5,4	3,5
Mn	mg/100g	88,8	102,1
Cu	mg/100g	0,5	0,5
Zn	mg/100g	53,4	43,2
S	mg/100g	111,3	469,4
Al	mg/100g	32,6	41,6
KTK	me/100g	13,87	16,82

Dari kandungan hara tanah, baik hara makro maupun mikro terjadi peningkatan cukup signifikan. Demikian pula dengan nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) terjadi peningkatan yang semula memiliki nilai KTK 7,14 menjadi 16,82. Peningkatan kandungan hara tanah dalam sistem lahan basah ini berarti terjadi perubahan positif yang dapat memberikan sifat kesuburan bagi tanah. Indikasi kesuburan tanah selain dapat dilihat dari tekstur dan kandungan hara (N, P, K) juga dari nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang merupakan nilai kation basa terdiri dari Ca, Mg, Na dan K. Nilai perbandingan kelompok kation tersebut dapat digunakan untuk menunjukkan sifat tanah di dalam menyediakan hara dan pH.(Winarso S., 2005).

Kualitas dan kesehatan tanah juga ditentukan oleh kandungan bahan organiknya. Pengolahan tanah secara berkesinambungan juga harus memperhatikan perbandingan antara kadar unsur carbon (C) terhadap unsur hara N, P, K dan juga harus mempertahankan kadar bahan organik dalam tanah. Berdasarkan pada pembahasan tersebut diatas maka bioteknologi dalam pengolahan air limbah sistem lahan basah dapat memberikan pengaruh positif memperbaiki kualitas tanah melalui perbaikan tekstur, unsur hara dan sifat-sifat fisik. Namun demikian perlu pemantauan sejauh mana terjadi akumulasi bahan-bahan pencemar yang berasal dari air limbah seperti Na dan logam berat ke dalam tanah.

Analisis Logam Berat

Permasalahan lingkungan khususnya pencemaran oleh limbah industri umumnya akan dikaitkan dengan masalah logam berat yang termasuk kriteria limbah B3. Didalam percobaan ini dilakukan pula analisis kandungan logam berat di dalam air limbah, media tanah dan tanaman. Pada salah satu perlakuan yang terbaik yaitu pengolahan air limbah melalui lahan basah yang ditumbuhi tanaman dengan pola aliran horizontal dilakukan sampling dan analisis logam berat. Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengolahan air limbah terhadap percobaan kontrol yang menggunakan air bersih yaitu untuk mengetahui sejauh mana dapat mereduksi logam berat dalam air limbah dan sejauh mana terjadi akumulasi didalam tanah dan tanaman. Data analisis logam berat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Analisis Logam Berat

Contoh	Parameter Logam Berat, ppm			
	Cd	Cr	Pb	Co
Air limbah				
- inlet	0,004	0,343	0	0,048
- outlet	0,002	0,208	0	0,037
% Reduksi	50,0	39,4	-	22,9
Tanah				
- percobaan	0,00011	0,00185	0	0,0003
- kontrol	0,00010	0,00180	0	0,0002
% Akumulasi	10,0	2,8	-	50,0
Tanaman				
- percobaan	0,0007	0,0014	0	0
- kontrol	0,0006	0,0003	0	0
% Akumulasi	16,7	366	-	-

Berdasarkan analisis logam berat, menunjukkan bahwa pengolahan air limbah sistem lahan basah yang dilengkapi dengan pertumbuhan tanaman dapat menurunkan kadar logam berat cukup efektif khususnya untuk logam Cd, Cr dan Co mencapai 22–50 %. Keberadaan logam berat tersebut dipindahkan dari semula terkandung dalam air limbah berpindah ke media tanah dan atau ke tanaman. Dari Tabel 6. terlihat bahwa dengan membandingkan terhadap pengolahan kontrol keberadaan logam berat Cd terakumulasi di tanah dan di tanaman dengan kadar sangat rendah. Sedangkan logam berat Cr lebih dominan terakumulasi dalam tanaman, daripada di tanah. Kadar Cr dalam tanaman percobaan meningkat > 300 % dari yang terkandung dalam tanaman kontrol. Berarti tanaman mendong ini termasuk jenis tanaman yang bersifat sebagai bioakumulator terhadap logam berat Cr. Berbeda halnya dengan logam berat Co yang hanya terakumulasi di tanah saja, berarti logam berat Co berada dalam bentuk senyawa yang tidak tersedia untuk diserap tanaman.

Produktivitas Tanaman

Untuk mengetahui tingkat produktivitas tanaman telah dibandingkan tinggi tanaman, jumlah anakan dan berat biomassa kering tanaman yang tumbuh pada perlakuan percobaan yang dialiri air limbah dengan tanaman kontrol yang mendapat aliran air bersih. Data pengukuran berat total tanaman ditampilkan pada Tabel 7. Data yang ditampilkan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa tanaman yang tumbuh pada sistem lahan basah dengan aliran air limbah menghasilkan pertumbuhan dengan tinggi tanaman, jumlah anakan serta berat biomassa yang lebih besar

dibandingkan tanaman pada kontrol. Hal ini disebabkan oleh kualitas tanah yang dipakai sebagai media tumbuh tanaman menjadi lebih baik setelah mendapat aliran air limbah.

Tabel 7. Berat Biomassa Tanaman Percobaan dan Tanaman Kontrol

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Anakan	Biomassa Kering (gr)
• Kontrol	91	56	27.63
• Aliran Horizontal	93	57	29.58
• Aliran Vertikal	92	62	28.76

Perubahan tekstur dan ketersediaan hara dalam tanah yang berasal dari air limbah telah mendukung pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik, sebaliknya kualitas tanah yang digunakan masih miskin unsur hara seperti pada kontrol sehingga menghasilkan pertumbuhan tanaman yang rendah. Produktivitas tanaman yang terbaik diperoleh pada pengolahan air limbah sistem lahan basah dengan aliran horizontal.

KESIMPULAN

- Pengolahan sistem lahan basah yang disinergikan dengan budidaya tanaman mendong (*Fimbristylis globulosa*) cukup efektif dan efisien untuk diaplikasikan pada pengolahan lanjut dari IPAL industri pulp dan kertas skala kecil menengah. Sistem pengolahan ini memiliki keunggulan dengan perolehan nilai ekonomi dari tanaman mendong sebagai bahan berserat untuk kerajinan ataupun untuk bahan baku pulp dan kertas.
- Dari rancangan percobaan menunjukkan adanya kontribusi peran tanaman pada pengolahan air limbah sistem lahan basah dengan komposisi media berupa campuran tanah dan pasir 1 : 1 pada laju beban organik 0,5 g COD/m³,hari atau dengan waktu tinggal 30 jam dapat memperbesar reduksi BOD = 15–16%, COD = 11–13%, lignin 3–4% serta Natrium 20–33%.
- Efisiensi pengolahan sistem lahan basah yang bersinergi dengan tanaman mendong dapat meningkat terlihat dari pencapaian reduksi yang tertinggi yaitu reduksi TSS > 84 %, BOD > 71 %, COD > 85 %, lignin > 92 % dan Na > 70 %.
- Pengolahan sistem lahan basah dengan pertumbuhan tanaman mendong memiliki

kemampuan dapat mereduksi kandungan logam berat Cd, Cr dan Co dalam air limbah sekitar 22–50%. Tanaman mendong mempunyai kemampuan absorpsi logam Cr yang cukup tinggi dengan persen absorpsi > 360 % dari yang terkandung pada tanaman kontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- Allan, M. Springer., 1993. *Industrial Environmental Control Pulp and Paper Industri*, Tappi Press, 2nd Edition.
- Daiger, G.T. , Waltrip, G. D. ., 1998. *Enhanced Secondary Treatment Incorporating Biological Nutrient*. Journal of WPCF. Vol.60, No. 10, p. 1833 – 1842.
- Hammer, D. A. ., 1989. *Constructed Wetland for Wastewater Treatment Municipal, Industrial and Agricultural*. Utilization of Artificial Marshes for Treatment of Pulp Mill Effluent, Tappi Proceedings.
- Hardiani, N, Handayani TA, Aep Surachman., *Pengolahan Air Limbah Pulp dengan Sistem Lahan Basah (Wetland System)*. Berita Selulosa, Vol XXXVII, 2001, No 3 – 4, hal 42 – 49.
- Hopkint, WG., 1999. *Introduction to Plant Physiology*, John Willey & Sons, Inc, 2nd ed., New York.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2002. *Himpunan Peraturan Perundang-undangan di Bidang Pengolahan Lingkungan Hidup*, Edisi 1, Jakarta.
- Metcalf and Eddy, 2003. *Wastewater Engineeing : Treatment and Reuse*, 4th ed., Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, India.
- Robert L. Knight, 1994. *Design and Performance of the Champion Pilot Constructed Wetland Treatment System*. International Conference Proceedings, Tappi Press, Atlanta.
- Rudolph N. Thut, 1989. *Utilization of Artificial Marshes for Treatment of Pulp Mill Effluents*. Environmental Conference, Tappi Proceedings, p. 83 – 87.
- UNEP_NIEM, 1996. *Environmental Management in the Pulp and Paper Industry, Receiving Water Quality Evaluation and Receiving Land Quality Evaluation*, Training Package 2, Thailand.
- Wesley Eckenfelder, 2000. *Industrial Water Pollution Control*. McGraw-Hill Book Company, 3rd Edition, Singapore, International Edition.
- Winarso, S, 2005. *Kesuburan Tanah, Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah*, Penerbit Gava Media, Yogyakarta.
-