
Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (*Subsurface Flow Constructed Wetlands*)

Lita Darmayanti, Manyuk Fauzi, Bagus Hajri

Program Studi Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293
litlit98@yahoo.com

Abstrak

Sistem lahan basah buatan (*constructed wetlands*) adalah sebuah sistem yang didesain dan dikonstruksi untuk memanfaatkan proses-proses alami yang melibatkan vegetasi, tanah, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah. Teknologi ini meniru kemampuan sebuah ekosistem yang terdiri dari tumbuhan, media tumbuh (tanah, pasir, dan lain-lain), dan mikroorganisme yang saling bekerja sama untuk menguraikan bahan organik sehingga tercipta siklus kehidupan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan sistem lahan basah buatan dalam mengolah air limbah domestik dan menentukan waktu detensi terbaiknya. Lahan basah buatan yang digunakan adalah tipe aliran bawah permukaan (*subsurface flow constructed wetlands*). Ekosistem dibuat dengan menggunakan media tanah gambut dan tanaman rumput mendong (*Fimbristylis globulosa*). Pengamatan dilakukan pada waktu detensi 2, 3, 4, dan 5 hari dengan parameter pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS). Hasil penelitian menunjukkan *constructed wetlands* yang digunakan dapat menurunkan nilai pH rata-rata 23,3-29,3 %, COD 27,7-56,9 %, dan TSS 84,4-90,8 %. Waktu detensi terbaik adalah 5 hari, dengan efisiensi penurunan pH 30,2 %, COD 60,1 %, dan TSS 90,4 %. Secara keseluruhan hasil olahan, terutama untuk parameter pH dan TSS, pada setiap variasi waktu detensi telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan Pemerintah Indonesia melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 112 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah domestik.

Kata kunci: efisiensi pengolahan, lahan basah, limbah domestik, waktu detensi.

1 Pendahuluan

Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (real estate), rumah makan (restaurant), perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003). Secara prinsip air limbah domestik terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu air limbah yang terdiri dari air buangan tubuh manusia yaitu tinja dan urine (*black water*) dan air limbah yang berasal dari buangan dapur dan kamar mandi (*gray water*), yang sebagian besar merupakan bahan organik (Veenstra, 1995 dalam Supradata, 2005). Efek yang dapat ditimbulkan akibat membuang limbah domestik secara langsung ke

lingkungan, saluran drainase kota, atau badan air lain tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu bisa menyebabkan gangguan terhadap kesehatan, biota perairan, dan estetika. Tingginya pencemaran lingkungan yang bersumber dari air limbah domestik ini bisa disebabkan beberapa hal seperti kondisi sarana sanitasi yang kurang memadai, kebiasaan masyarakat yang kurang mendukung perilaku hidup bersih dan sehat, masalah ekonomi, sempitnya lahan perumahan sehingga tidak ada ruang (lahan) untuk membangun unit pengolah air limbah, dan lain-lain. Kendala-kendala tersebut menyebabkan pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik menjadi permasalahan yang masih kurang diprioritaskan. Dalam rangka meningkatkan kualitas lingkungan dan meminimasi dampak pencemar, diperlukan pemilihan dan penerapan teknologi pengolahan air limbah domestik yang sederhana, mudah, dan murah dalam pengoperasian dan perawatannya.

Salah satu sistem pengolahan limbah yang merupakan teknologi tepat guna yang mampu mengolah air limbah domestik adalah teknologi *constructed wetland* atau sistem tanah basah/lahan basah/rawa buatan dengan memanfaatkan tanaman/vegetasi, air dan mikroorganisme. Tanaman air pada *constructed wetland* berperan menyediakan lingkungan yang cocok bagi mikroba pengurai untuk menempel dan tumbuh. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrisi, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

Beberapa penelitian terdahulu yang telah mengkaji pengolahan air limbah dengan sistem *Sub Surface Flow Constructed Wetland (SSF-Wetland)* yang memanfaatkan tanaman adalah Supradata (2005), yang membuat pengolahan limbah domestik dengan sistem *SSF-Wetland*. Tanaman yang digunakan adalah tanaman hias jenis bintang air (*Cyperus alternifolius*) dengan media pasir, sedangkan sampel air limbah berasal dari kompleks *real-estate* Puri Anjasmoro Semarang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar limbah dengan waktu detensi 2 hari untuk parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) 78,83%, untuk TSS (*Total Suspended Solid*) terjadi penurunan 70%. Demikian juga Hidayah dan Aditya (2009) yang meneliti pengolahan limbah domestik dengan sistem *constructed wetland*, menggunakan tanaman *Cattail (Typha angustifolia)* dan media tanah rawa alami serta air limbah yang berasal dari rumah susun Wonorejo, Surabaya. Hasilnya dapat menyisihkan kandungan pencemar dalam air limbah dengan waktu detensi 3 hari, efisiensi penyisihan COD 77,6-91,8%, dan TSS 33,3-83,3%.

Menurut Wood (1990) dalam Supradata (2005), selain jenis tanaman/vegetasi, media tumbuh dan temperatur, beberapa faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam pengolahan limbah dengan sistem *constructed wetland* yaitu menurut Kusumastuti (2009), jenis bahan pencemar, sistem pengaliran air di atas atau di bawah permukaan tanah, jenis substrat tempat tanaman tumbuh, waktu detensi, dan jenis tanaman, sedangkan menurut Farooqi, Basheer dan Chaudari (2002) dalam Senggupa dan Dalwani (2008) distribusi media dan sistem pengaliran.

Penelitian ini bertujuan untuk menggunakan *constructed wetland* dengan media tanah gambut dan tanaman rumput mendong untuk mengolah air limbah domestik. Tanah gambut dipilih karena media ini sangat banyak ditemukan di Kota Pekanbaru. Selain itu penelitian ini bermanfaat untuk mencari tanaman yang cocok dengan media tanah gambut sehingga dapat mengolah air limbah, selain itu diharapkan tanaman tersebut juga mempunyai fungsi lain seperti tanaman hias atau bisa dimanfaatkan untuk kerajinan, dan fungsi-fungsi lainnya. Jika telah ditemukan tanaman yang bisa hidup dengan baik di tanah gambut dan mempunyai banyak fungsi, teknologi ini bisa dimanfaatkan secara luas di Propinsi Riau yang banyak mempunyai lahan gambut. Dengan diolahnya air limbah domestik maka potensi pencemaran air akan bisa diminimalkan sehingga kelestarian lingkungan akan lebih terjaga.

2 Metodologi

Penelitian ini merupakan penelitian skala laboratorium yang dilakukan di halaman Laboratorium Hidroteknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Reaktor diletakkan di tempat yang terkena cahaya matahari karena tumbuhan memerlukannya untuk proses fotosintesis.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah gambut yang diambil dari daerah sekitar Terminal AKAP Payung Sekaki, kerikil dari daerah Kampar, air limbah domestik yang diambil dari salah satu rumah yang ada di Perumahan Palam Regenci Panam, Pekanbaru, dan tanaman rumput mendong (*Fimbristylis globulosa*) seperti terlihat pada Gambar 1. Tanaman rumput mendong merupakan jenis tanaman yang hidup di daerah rawa. Tanaman ini juga termasuk tanaman hias, dan mudah ditemukan di Riau. Tanaman tersebut telah banyak dibudidayakan sehingga mudah dijumpai di pekarangan penduduk maupun di toko bunga.



Gambar 1. *Fimbristylis globulosa*

Pembuatan Reaktor

Reaktor constructed wetland dibuat dari kaca dengan ukuran 100 cm x 30 cm x 50 cm. Reaktor yang digunakan jenis aliran bawah permukaan. Reaktor diisi dengan kerikil (diameter 2-3 cm) setebal 10 cm dan tanah gambut 20 cm. Tanah gambut sudah dibersihkan dari ranting dan akar-akar yang berukuran besar. Kemudian reaktor ditanami dengan rumput mendong. Reaktor yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Constructed wetlands*

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan di luar ruangan karena pertumbuhan tanaman memerlukan sinar matahari dan oksigen yang cukup. Setelah reaktor diisi dengan media kerikil dan tanah gambut dilakukan penanaman rumput mendong. Aklimatisasi tanaman ini dilakukan selama 40 hari. Penelitian ini dilakukan secara batch dimana air limbah dimasukkan kemudian dibiarkan sampai waktu detensi yang diinginkan kemudian dikeluarkan. Waktu detensi yang digunakan adalah 2, 3, 4, dan 5 hari. Sampel air limbah diambil pada bagian inlet dan outlet, untuk diperiksa pH, kandungan COD, dan TSS-nya. Pada setiap waktu detensi dilakukan ulangan sebanyak 3 kali.

3 Hasil dan Pembahasan

Air limbah domestik yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah yang langsung ditampung dari saluran pembuangan. Air limbah ditampung dari jam 06.00-08.00 kemudian sampelnya diperiksa pH, COD, dan TSS-nya. Air limbah ini belum memenuhi baku mutu air yang boleh dibuang ke lingkungan seperti yang ditetapkan pada surat keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 112 tahun 2003. Dengan adanya constructed wetland yang juga bisa difungsikan sebagai penghias taman diharapkan air buangan yang telah diolah sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

3.1 Efisiensi Penurunan Nilai pH

Nilai pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. Air limbah domestik

biasanya bersifat basa karena berasal dari sabun dan deterjen yang banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari. Nilai pH pada masing-masing waktu detensi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penurunan nilai pH

Waktu detensi (hari)	Running ke	Inlet	Outlet	Efisiensi (%)
2	1	11,3	8,6	23,9
	2	11,3	8,6	23,9
	3	10,4	8,4	22,2
Rata-rata		11	8,5	23,3
3	1	11,2	8,5	24,1
	2	11,2	8,5	24,1
	3	10,8	8,3	23,1
Rata-rata		11,1	8,4	23,8
4	1	11,5	8,4	27,0
	2	11,5	8,3	27,8
	3	11,3	8,3	26,5
Rata-rata		11,4	8,3	27,1
5	1	11,6	8,2	29,3
	2	11,6	8,1	30,2
	3	11,3	8,1	28,3
Rata-rata		11,5	8,1	29,3

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa *constructed wetland* mampu menurunkan pH air limbah dari 10,4-11,5 menjadi 8,1-8,6. Hasil ini sudah memenuhi persyaratan yang ditetapkan, dimana nilai pH air limbah yang boleh dibuang ke lingkungan adalah 6-9. Hasil ini sedikit berbeda dengan yang didapatkan Awalina dkk (2003) yang mengolah air limbah industri tapioka dengan *constructed wetlands*, dimana terjadi peningkatan pH dari 6,43 menjadi 7,60. Hal ini kemungkinan disebabkan aktifitas fotosintesis di siang hari yang mampu menggeser keseimbangan ion-ion karbonat sehingga menggeser nilai pH ke arah normal. Pada penelitian ini pH outlet yang didapat menurun jika dibandingkan inlet. Air limbah domestik umumnya bersifat basa disebabkan aktifitas rumah tangga yang banyak menggunakan sabun dan deterjen sehari-harinya. Hasil yang diharapkan adalah penurunan pH karena pH yang sangat basa juga tidak diperbolehkan untuk dibuang langsung ke lingkungan. Proses penurunan pH terjadi karena proses netralisasi dari air limbah yang basa bercampur dengan tanah gambut yang bersifat asam. Proses netralisasi berlangsung semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu detensi. Dengan waktu detensi yang cukup, proses netralisasi dapat berlangsung dengan baik dan aktifitas fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman juga bisa bekerja dengan baik.

3.2 Penyisihan COD

Hasil penyisihan COD pada air limbah domestik setelah melewati *constructed wetland* pada semua waktu detensi dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Penyisihan COD

Waktu detensi (hari)	Running ke	Inlet (mg/l)	Outlet (mg/l)	Efisiensi (%)
2	1	644	512	20,5
	2	644	496	23,0
	3	735	444	39,6
Rata-rata		674,3	484	27,7
3	1	669	410	38,7
	2	669	434	35,1
	3	735	439	40,3
Rata-rata		691	427,7	38,0
4	1	940	426	54,7
	2	940	417	55,6
	3	769	323	58,0
Rata-rata		883	388,7	56,1
5	1	837	403	51,9
	2	837	346	58,7
	3	769	307	60,1
Rata-rata		814,3	352	56,9

Dari tabel di atas, terlihat bahwa kandungan COD air limbah pada inlet berada pada nilai 769–837. Setelah melewati *constructed wetland*, COD air limbah menurun hingga mencapai nilai 307. Efisiensi penurunan berkisar antara 27,7-60,1 %. Persyaratan yang ditetapkan Pemerintah Indonesia sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 112 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah domestik, kadar maksimum BOD yang ditoleransikan adalah 100 mg/l. Dengan mengasumsikan perbandingan BOD/COD adalah 0,50 (Alaert dan Simestri, 1984) maka diperoleh nilai standar COD yang ditoleransikan sebesar 200 mg/l. Hasil pengolahan yang didapat dari *constructed wetland* pada penelitian ini ternyata belum mampu memenuhi baku mutu tersebut walaupun efisiensi penyisihannya sudah cukup tinggi.

Hasil yang didapat agak jauh berbeda jika dibandingkan dengan hasil yang didapatkan Supradata (2005). Penelitian tersebut menggunakan media pasir, kerikil dan tanaman bintang air (*Cyperus alternifolius*). Hasil penelitiannya menunjukkan *constructed wetland* mampu menurunkan COD sebesar 78,8% dari 405 mg/l menjadi 85,7 mg/l. Hidayah dan Aditya (2009) dalam penelitiannya juga mendapatkan penurunan konsentrasi COD sebesar 91,8% pada sampel air limbah domestik setelah melalui bak reaktor yang menggunakan tanaman *Cattail* (*Typha angustifolia*) dan media tanah rawa alami. Sementara itu Purwati dan Surachman (2006) mendapatkan penurunan COD tertinggi sebesar 85,0% dimana *constructed wetland* yang digunakan memakai media tanah, pasir, dan tanaman rumput mendong (*Fimbristylis globulosa*) untuk mengolah air limbah pulp dan kertas.

Penyisihan bahan organik dalam *constructed wetland* merupakan kerja sama antara tanaman dengan mikroorganisme yang terdapat dalam media tanamnya. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme

menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tanaman sebagai nutrisi, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme (Supradata, 2005). Selain itu tanaman juga diharapkan dapat berfungsi dalam meningkatkan proses penyerapan bahan-bahan organik yang ada dalam air limbah. Pada penelitian ini efisiensi penyisihan COD terbaik yang didapatkan adalah 60,1% pada waktu detensi 5 hari. Hasil ini belum bisa memenuhi standar yang ditetapkan pemerintah. Hal ini kemungkinan disebabkan kurang cocoknya rumput mendong dengan tanah gambut yang bersifat asam dan miskin dengan zat hara sehingga proses pengolahan yang terjadi belum maksimal. Selain itu kemungkinan juga disebabkan terlalu tingginya kandungan COD pada inlet sehingga untuk menyisihkannya diperlukan waktu yang lebih lama.

3.3 Penyisihan TSS

Total padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1 μ m) yang tertahan pada saringan millipore dengan diameter pori 0,45 μ m. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke dalam badan air. Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa anorganik dan organik yang terlarut dalam air, mineral dan garam-garamnya. Penyebab utama terjadinya TSS adalah bahan anorganik berupa ion-ion yang umum dijumpai di perairan seperti air limbah domestik yang banyak mengandung molekul sabun, deterjen, surfaktan yang larut dalam air. Hasil penyisihan TSS yang didapat pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Penyisihan TSS

Waktu detensi (hari)	Running ke	Inlet (mg/l)	Outlet (mg/l)	Efisiensi (%)
2	1	132	20	84,8
	2	132	16	87,9
	3	164	19	88,4
Rata-rata		142,7	18,3	87,0
3	1	143	24	83,2
	2	143	23	83,9
	3	164	23	86,0
Rata-rata		150	23,3	84,4
4	1	172	19	89,0
	2	172	13	92,4
	3	110	10	90,9
Rata-rata		151,3	14	90,8
5	1	125	15	88,0
	2	125	12	90,4
	3	110	12	89,1
Rata-rata		120	13	89,2

Dari tabel di atas terlihat nilai TSS inlet berkisar 110-172 mg/l sedangkan nilai outletnya 10-24 mg/l. Hasil yang didapatkan menunjukkan reaktor yang digunakan sangat efektif dalam menyisihkan kandungan TSS yang terdapat dalam air limbah.

Menurut Tangahu dan Warmadewanthi dalam Supradata (2005) mekanisme filtrasi dan sedimentasi juga terjadi dalam *SSF-Wetlands* tersebut. Proses filtrasi dilakukan oleh media dan akar tanaman yang terdapat dalam reaktor, dimana proses tersebut terjadi karena kemampuan partikel-partikel media maupun sistem perakaran membentuk filter yang dapat menahan partikel-partikel solid yang terdapat dalam air limbah. Menurut Wood dalam Hidayah dan Aditya (2009) proses sedimentasi terjadi dikarenakan air limbah harus melewati jaringan akar tanaman yang cukup panjang sehingga partikel-partikel yang melewati media dan zona akar dapat mengendap.

Hasil yang didapat tidak terlalu berbeda jauh dengan hasil yang didapatkan oleh Purwati dan Surachman (2006) yang menggunakan rumput mendong untuk mengolah air limbah industri pulp dan kertas. Reaktor yang digunakan memakai media tanah dicampur dengan pasir dengan komposisi 1:1, dengan aliran horizontal dan vertikal. Hasil yang didapatkan persentase penurunan TSS pada pola alir horizontal 84 % dan pola alir vertikal 80 %. Demikian juga dengan hasil yang didapatkan Hidayah dan Aditya (2009) yang menggunakan reaktor wetland dengan media tanah rawa dan tanaman *Cattail (Typha angustifolia)*. Persentase penyisihan tertinggi TSS adalah 83,3 %. Persentase tertinggi terjadi pada waktu detensi 12 hari, sedangkan persentase penurunan TSS saat waktu detensi 15 hari menurun menjadi 66,7 %. Hal ini disebabkan sistem perakaran di bak reaktor tidak selalu menghambat laju partikel solid yang dibawa pola aliran limbah, sehingga ada beberapa partikel padatan masih lolos dan mempengaruhi berat solid yang akan dianalisis.

Penelitian ini mendapatkan efisiensi penurunan TSS maksimum terjadi pada waktu detensi 4 hari yaitu sebesar 92,4%. Kemudian terjadi penurunan pada waktu detensi 5 hari menjadi 90,4%. Hasil penyisihan TSS yang tinggi menunjukkan partikel-partikel solid yang terdapat dalam air limbah sebagian besar terbentuk dari bahan organik. Bahan organik yang berbentuk padatan akan tertahan dalam media *SSF-Wetland* melalui mekanisme filtrasi dan sedimentasi. Padatan yang tertahan dalam media, kemudian oleh bakteri akan didegradasi menjadi unsur yang lebih sederhana dan terlarut dalam air limbah. Penurunan efisiensi dari waktu detensi 4 hari ke 5 hari kemungkinan disebabkan sistem perakaran dalam bak reaktor tidak selalu dapat menghambat laju partikel solid sehingga akan ada padatan yang masih lolos.

Nilai TSS yang didapatkan pada outlet untuk semua waktu detensi sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan Pemerintah Indonesia sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 112 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah domestik yang ditoleransikan yaitu maksimal 100 mg/l.

4 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Constructed wetland* dengan media tanah gambut dan tanaman rumput mendong (*Fimbristylis globulosa*) bisa digunakan untuk mengolah air limbah domestik.
2. *Constructed wetland* dengan waktu detensi 5 hari memberikan hasil terbaik yaitu menghasilkan nilai pH sebesar 8,1 dengan efisiensi penurunan 30,2 %, nilai COD sebesar 307 mg/l dengan efisiensi penurunan 60,1 %, dan nilai TSS sebesar 12 mg/l dengan efisiensi penurunan 90,4 %.
3. Meskipun efisiensi penyisihan COD sudah tinggi, namun hasil olahan yang didapatkan belum mencapai standar baku mutu yang ditetapkan pemerintah. Hal ini kemungkinan disebabkan terlalu tingginya nilai COD inlet sehingga membutuhkan waktu detensi yang lebih lama. Selain itu kemungkinan juga disebabkan kurang cocoknya tanaman rumput mendong dengan media tanah gambut yang bersifat asam dan miskin hara, sehingga kurang optimal dalam menguraikan bahan organik yang ada dalam air limbah.
4. Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa *constructed wetland* dengan media tanah gambut dan tanaman hias rumput mendong (*Fimbristylis globulosa*) mampu memperbaiki kualitas air limbah domestik terutama untuk parameter pH dan TSS.

5 Daftar Pustaka

- Alaerts, G. dan Sumestri, Sri. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Awalina, AA dan Meutia. 2003. *Aplikasi Lahan Basah Buatan Tropis Jenis Aliran Permukaan untuk Menyisihkan SS dan Konstituen Organik dalam Limbah Industri Tepung Tapioka*. Puslit Limnologi-LIPI. Bogor.
- Hidayah, EN dan Aditya, Wahyu. 2009. "Potensi dan Pengaruh Tanaman pada Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Sistem Constructed Wetland". *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 2(2): 11-18.
- Kusumastuti, Widayati. 2009. *Evaluasi Lahan Basah Bervegetasi Mangrove Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Tesis Sekolah Pascasarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Purwati, Sri. dan Surachman, Aep. 2006. *Potensi dan Pengaruh Tanaman Pada Pengolahan Air Limbah Pulp dan Kertas dengan Sistem Lahan Basah*. Balai Besar Pulp dan Kertas. Bandung.
- Senggupa, Dalwani. 2008. *Constructed Wetland System (CWS) Wastewater Treatment*. Aligarh Muslim University. India.
- Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius Dalam sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan*. Tesis Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Tangahu, Bieby, and Voijant. 2006. *Studi Aliran dalam Constructed Wetland menggunakan tanaman Cyperus Papyrus dalam Mengolah Lindi*. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP – ITS. Surabaya.