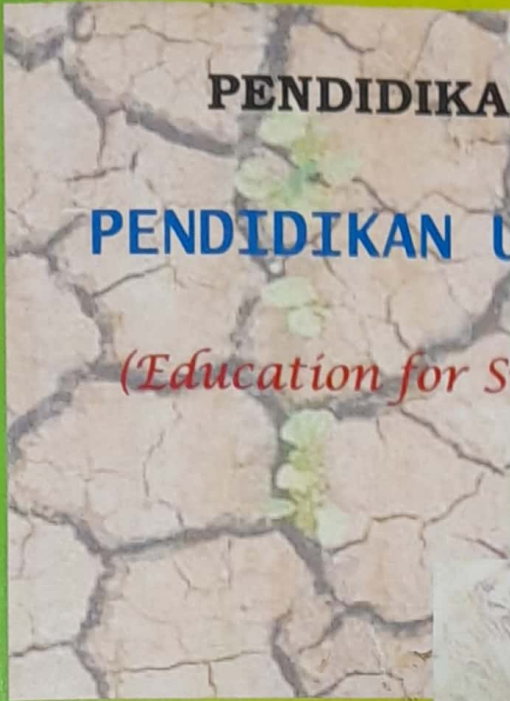


ISBN 978-602-95283-0-5



**SEMINAR NASIONAL
PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP**
TEMA:
**PENDIDIKAN UNTUK PEMBANGUNAN
BERKELANJUTAN**
(Education for Sustainable Development)

Malang, 20 Juni 2009

PROSIDING



Diterbitkan oleh:



Pusat Penelitian Lingkungan Hidup
Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Malang

Didukung oleh:



BKPSL se-Indonesia



PEMERINTAH KOTA MALANG



JASA TIRTA I

PERUM JASA TIRTA I
MALANG



PT KURNIAJAYA
MULTISANTOSA

**SEMINAR NASIONAL
PENDIDIKAN LINGKUNGAN HIDUP**

TEMA:
PENDIDIKAN UNTUK PEMBANGUNAN
BERKELANJUTAN
(Education for Sustainable Development)

Malang, 20 Juni 2009



PROSIDING

Diselenggarakan oleh:
Pusat Penelitian Lingkungan Hidup
Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Malang

Bekerja sama dengan:
Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL)
Se Indonesia

1.14	Susriyati Mahanal & Andy Laksono Prasetyo W.	108
	<i>Penerapan Pembelajaran Lingkungan Hidup Berbasis Proyek untuk Memberdayakan Kemampuan Berpikir Kritis, Penguasaan Konsep, dan Sikap Siswa (Studi di SMA Negeri 9 Malang)</i>	
1.15	Suratno	119
	<i>Optimasi Pembelajaran Biologi SMA Konsep Keanekaragaman Hayati dengan Strategi Jigsaw IV-Reciprocal Teaching</i>	
1.16	Tumisem	123
	<i>Model Pendidikan Lingkungan Terpadu di Sekolah Dasar Melalui Kegiatan Ekstrakurikuler Untuk Meningkatkan Environmental Literacy</i>	
1.17	Wahyu Parihanta	132
	<i>Pengembangan Kampus Universitas Muhammadiyah Malang sebagai Kunjungan Wisata Pendidikan Lingkungan Hidup</i>	
1.18	Widodo Brontowiyono, J. Rahmadani, R. Lupiyanto, & D. Wijaya	138
	<i>Wayang Kardus Sebagai Media Pembelajaran Lingkungan Hidup di Sekolah</i>	
1.19	Yuyus Robentien	144
	<i>Pembelajaran Menulis Cerpen "Pohon Persahabatan" dan Menulis Puisi Pohon Kehidupan", dengan Pengantar Memunguti Sampah Daun-Daunan di Halaman Sekolah (Sebuah Bentuk Kepedulian Terhadap Lingkungan)</i>	

Tema Bagian 2: Pelestarian Lingkungan Hidup dan Sumberdaya Alam

2.1	Agus Sutanto	151
	<i>Meminimalkan gangguan Gajah (<i>Elephas maximus sumatranus</i>) dengan Memahami Perilaku Gajah di Taman Nasional Way Kambas Lampung</i>	
2.2	Aman Santoso	160
	<i>Kajian Pemanfaatan Hasil Samping dan Limbah Pembuatan Biodiesel untuk Meningkatkan Feasibilitas Pengembangan Biodiesel</i>	
2.3	Diana Hendrawan, Melati F. Fachrul, M. Lindu, Qurrotu 'Aini Besila	165
	<i>Aplikasi Lahan Basah Buatan Jenis Aliran Permukaan untuk Pengolahan Limbah Domestik (Studi Kasus : Waduk Setiabudi, Jakarta)</i>	
2.4	E. Dewanto, S. Priyanto, dan S. Lestari	175
	<i>Pola Pengelolaan Limbah di Sentra Industri Tahu Skala Kecil – Menengah di Kabupaten Banyumas</i>	
2.5	Eli Hendrik Sanjaya	179
	<i>Mikroalga dapat Mengurangi CO₂ di Atmosfer dan Menghasilkan Lipid sebagai Bahan Baku Produksi Biodiesel</i>	
2.6	Evi Susanti	182
	<i>Optimasi Tahap Fermentasi pada Produksi Bioetanol dari Umbi Ubi Jalar Putih (<i>Ipomoeae batatas</i> L) Menggunakan <i>Aspergillus niger</i> dan <i>Saccharomyces cerevisiae</i></i>	
2.7	Hanni Elitasari Mahaputri	189
	<i>Penerapan Konsep Konstruksi Berkelanjutan Melalui Pendekatan Proses Disain Terintegrasi (Integrated Design Process)</i>	
2.8	Hening Widowati	195
	<i>Studi Kemampuan Tumbuhan Air sebagai Fitoremediator Pencemaran untuk Model Pembelajaran Biologi Lingkungan yang Kontekstual pada Sekolah Hijau</i>	
2.9	I Gde Mertha, Endah Wahyuningsih, & Padusung	208
	<i>Keanekaragaman dan Kekayaan Flora Pohon sebagai Parameter Pemantau Degradasi Hutan: Studi Kasus di Kawasan Gunung Rinjani</i>	
2.10	Ira Irawati, Salahudin, & Selvianti	214
	<i>Konsep Industri Sampah (KIS) sebagai Konsep Pengelolaan Sampah Perkotaan di Kota Bandung</i>	
2.11	Khairudin	228
	<i>Penggunaan Bioindikator dalam Penentuan Kualitas Lingkungan</i>	
2.12	Laurent Octaviana	234
	<i>Metabolit Sekunder, Kultur Jaringan, dan Kelestarian Lingkungan Hidup</i>	
2.13	M. Fakhruddin	239
	<i>Karakteristik hidrologi Sebagai Dasar Pengelolaan Danau Secara Terpadu (Studi Kasus D. Maninjau, D. Limboto dan D. Semayang-melintang)</i>	
2.14	Mardi Wiyono.....	247
	<i>Pemanfaatan Energi Surya untuk Mengurangi Pemanasan Global</i>	
2.15	Mohammad Jamhari	257
	<i>Kualitas Udara dan Keberadaan Lichen di Kota Malang</i>	

APLIKASI LAHAN BASAH BUATAN JENIS ALIRAN PERMUKAAN UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK (STUDI KASUS : WADUK SETIABUDI, JAKARTA)

Diana Hendrawan, Melati F. Fachrul, M. Lindu, Qurrotu 'Aini Besila

Lembaga Penelitian Universitas Trisakti
e-mail: nana_hdr@yahoo.com, melatif_99@yahoo.com

Abstrak: Lahan basah buatan adalah suatu sistem pengolahan limbah cair yang didasarkan pada proses-proses yang terjadi pada lahan basah alami. Komponen utama adalah substrat dan tumbuhan air. Air yang mengandung limbah setelah melalui lahan basah diharapkan akan meningkat kualitasnya. Lahan basah buatan berfungsi untuk menyisihkan berbagai macam beban materi pencemar. Penelitian ini bertujuan mengetahui penurunan beberapa parameter pencemar dengan waktu tinggal tertentu dan mengetahui hubungan kinerja antara tanah, tanaman, mikroba dan plankton dalam mereduksi pencemar. Pembuatan lahan basah dilakukan di area Waduk Setiabudi. Disain lahan basah buatan menggunakan aliran permukaan. Waktu tinggal dilakukan selama 12 jam, 24 jam dan 48 jam. Efisiensi lahan basah buatan dilihat dari pengurangan COD pada waktu tinggal 12 jam sebesar 45 %, waktu tinggal 24 jam sebesar 46% dan pada waktu tinggal 48 jam sebesar 57%. Sedangkan hasil perhitungan secara statistik untuk melihat hubungan waktu tinggal dengan perubahan pencemar terlihat bahwa nilai R^2 pada waktu tinggal 12 jam sebesar 15 %, 24 jam sebesar 93 % dan 48 jam sebesar 3,6 %. Hasil uji ANOVA menunjukkan beda antar perlakuan pada tingkat kepercayaan 95 % dan perlakuan yang terbaik adalah perlakuan 2 dengan waktu tinggal 24 jam.

Kata kunci : lahan basah buatan; limbah cair; reduksi limbah

PENDAHULUAN

Lahan basah buatan (*Constructed wetlands*) adalah teknologi alternatif pengolahan air limbah yang potensial di Indonesia namun masih kurang mendapat perhatian dan masih jarang dipergunakan sebagai sistem untuk pengolahan air limbah domestik. Padahal pengolahan ini sebenarnya sudah banyak digunakan di negara-negara maju yang mempunyai teknologi yang canggih dan mahal dalam pengolahan limbah. Pada era modern ini mereka kini kembali ke alam (*back to nature*) untuk melakukan pengolahan limbahnya. Lahan basah buatan adalah suatu sistem pengolahan limbah cair yang didasarkan pada proses-proses yang terjadi pada lahan basah alami. Komponen utama adalah substrat dan tumbuhan air. Air yang mengandung limbah setelah melalui lahan basah diharapkan akan meningkat kualitasnya.

Menurut Khiatuddin (2003), berkaitan dengan pengetahuan tentang pembersihan air, manusia semakin memahami akan pentingnya peran alami lingkungan alam yang dulunya diabaikan dalam mengatasi masalah pencemaran air. Belajar dari proses pembersihan air yang terjadi di rawa alami, ide penciptaan rawa buatan kemudian timbul dikalangan para ahli lingkungan. Proses alami tersebut ditiru manusia karena dapat menghemat penggunaan sumber daya dan energi. Proses alami tersebut secara harfiah disebut dengan ekoteknologi. Pada masa kini, ekoteknologi merupakan alternatif untuk mengolah limbah yang dapat mengatasi pencemaran pada perairan umum. Proses pengolahan pada sistem ekoteknologi, yaitu menyerap bahan pencemar melalui akar atau dikenal dengan lahan basah buatan atau *constructed wetland*. Lahan basah buatan adalah teknologi sederhana untuk menurunkan pencemaran lingkungan dengan cara pengolahan air tercemar dengan menggunakan tanaman dan mikro-organisme atau fitoremediasi.

Waduk Setiabudi DKI Jakarta merupakan waduk untuk menampung air buangan dari hasil kegiatan di sekitarnya seperti permukiman dan perkantoran. Proses pengolahan di Waduk Setiabudi menggunakan proses aerobik dengan 4 buah aerator yang dioperasikan selama 2 jam pada sore dan pagi hari. Setelah diproses secara aerobik, setiap pagi dilakukan pemompaan untuk dialirkan ke Sungai Ciliwung. Air Sungai Ciliwung tersebut digunakan sebagai bahan baku air minum penduduk DKI Jakarta melalui proses di PAM Jaya.

Pada saat sekarang, kendala yang terjadi secara teknis adalah pengoperasian aerator dalam Waduk Setiabudi yang ada tidak berlangsung optimal. Dari empat aerator yang ada hanya beroperasi 1 buah aerator. Selain itu dengan tidak berjalannya pengumpulan dana retribusi dari penduduk dan perkantoran, menyebabkan dana pengoperasian dan perawatan tidak dapat berjalan dengan semestinya, sehingga akibatnya proses pengolahan limbah tidak berjalan sempurna dan karakteristik buangan tidak seperti yang diharapkan.

Dari gambaran di atas maka penelitian ini dilaksanakan untuk membantu memperbaiki kualitas output pengolahan limbah yang ada (Waduk Setiabudi) tidak dengan teknologi yang mahal, tetapi sebaliknya dengan memanfaatkan proses alamiah yaitu dengan teknologi lahan basah buatan (*Constructed Wetland*). Tujuan penelitian adalah :

1. Mengetahui penurunan beberapa parameter pencemar dengan waktu tinggal tertentu
2. Mengetahui hubungan kinerja antara tanah, tanaman, mikroba dan plankton dalam mereduksi pencemar.

METODE

Penelitian di laksanakan di Waduk Setiabudi PD PAL Jaya, Jakarta. Penelitian berlangsung dari bulan Mei sampai dengan November 2007. Pembuatan lahan basah dilakukan di area Waduk Setiabudi. Lahan basah yang dibuat merupakan unit tambahan dari unit operasi yang sudah ada. Disain lahan basah buatan menggunakan aliran permukaan. Air limbah yang akan dialirkan ke dalam lahan basah berasal dari kolam oksidasi. Ukuran yang dipakai pada penelitian ini disesuaikan dengan kapasitas penelitian dimana dimensi bangunan tidak terlalu besar, namun sumber limbah dan kondisi lingkungan dalam keadaan yang sebenarnya. Tabel 1 memperlihatkan desain lahan basah. Penelitian dilakukan untuk melihat waktu tinggal limbah dan kemampuan lahan basah buatan dalam mereduksi limbah. Air limbah akan dialirkan ke dalam lahan basah dengan menggunakan pompa dan diatur waktu tinggalnya. Pengaturan waktu tinggal dilakukan dengan cara mengatur debit aliran limbah.

Tabel 1. Desain lahan basah

No.	Spesifikasi	Ukuran (m)	Keterangan
1	Panjang : Lebar permukaan air	4 : 1	
2	Panjang : Lebar dasar kolam	2 : 1	
3	Dalam kolam	1	
4	Dalam air	0,3	
5	Jenis aliran		Aliran permukaan
6	Lapisan dasar Lap. lumpur - ketebalan Tanah subur - ketebalan Kerikil - ketebalan	0,15 0,2 0,2	
7	Jenis tanaman		<i>Thypha sp</i>
8	Jarak antar tanaman	0,5	

Pengambilan sampel air dilakukan berdasarkan waktu tinggal (*Time detention*). Waktu tinggal memiliki peran yang sangat besar dalam penguraian limbah untuk mendukung kerja mikroorganisme dan tumbuhan air dalam lahan basah. Waktu tinggal ditentukan selama 12 jam, 24 jam dan 36 jam dengan jumlah pengambilan dari masing-masing perlakuan sebanyak 3 kali. Sampel air selanjutnya dianalisis di laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Trisakti. Parameter yang diuji adalah BOD, COD, Nitrat, Fosfat, Minyak dan Lemak, Phenol, Surfaktan (Deterjen).

Efisiensi lahan basah buatan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Eff} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \%$$

Dimana :

C_0 = Konsentrasi awal

C_t = Konsentrasi akhir

Sedangkan untuk mengetahui hubungan antara waktu tinggal dengan perubahan pencemar dilakukan perhitungan Regresi Linier. Selanjutnya untuk mengetahui beda antara perlakuan dilakukan Uji ANOVA dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mc Eldowney, et al (1993) menyatakan bahwa faktor penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan lahan basah untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas penurunan polutan adalah:

1. Pemilihan spesies tanaman
2. Substrat
3. Area lahan buatan
4. Kondisi alami, beban yang masuk dan distribusi effluen

Pemilihan spesies tanaman

Tanaman yang digunakan sebaiknya memenuhi 4 fungsi utama yaitu sebagai dapat berfungsi sebagai filter bahan padatan tersuspensi, sebagai tempat pertumbuhan bakteri, oksigen yang masuk kedalam akar berfungsi meningkatkan efisiensi penguraian polutan oleh bakteri pengurai dan memelihara substrat. Terlihat bahwa ada hubungan antara kecepatan tumbuh, kandungan rizoma dan sistem perakaran dengan pertumbuhan bakteri.

Substrat

Pemilihan substrat sangat menentukan, yaitu kerikil, pasir perairan dan lumpur. Pemilihan substrat harus dapat menunjang pertumbuhan tanaman. Pengurangan logam berat lebih efektif dengan penggunaan substrat yang mengandung bahan organik tinggi atau tanah liat. Pada sistem untuk pengolahan limbah pertanian dimana mengandung bahan organik tinggi dan cenderung asam, sangat baik menggunakan batu kapur. Porositas substrat juga perlu diperhatikan dalam pengaturan pH dan menyebabkan pengurangan fosfat.

Pengelolaan lingkungan di sekitar perairan oleh masyarakat sangat penting dalam menjaga kelestarian perairan. Esensi yang paling utama dari sistem ini ialah harus berbasis pada masyarakat, karena masyarakatlah yang berperan dalam merusak atau memelihara perairan.

Area lahan basah buatan

Area yang dibutuhkan sangat tergantung dari effluen limbah yang akan diolah. Menurut Kickuth (1983) untuk mereduksi BOD dari effluen limbah, dipakai rumus :

$$A_h = KQ_d (\ln C_0 - \ln C_t) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- A_h = perkiraan kebutuhan lahan
 K = konstanta = 5,2
 Q_d = kisaran aliran limbah ($m^3/hari$)
 C_0 = kisaran BOD₅ yang masuk (influent) (mg/l)
 C_t = kisaran BOD₅ yang keluar (effluent) (mg/l)

Nilai $K = 5,2$ diturunkan untuk kolam dengan kedalaman 0,6 m dan dioperasikan pada suhu minimum 8 °C. Untuk limbah yang nonbiodegradable nilai K yang dipakai adalah 15. Dengan menggunakan formula yang minimal maka umumnya area yang diperlukan adalah 2,2 $m^2/orang$ untuk pengolahan limbah rumah tangga.

Kondisi alami, beban dan distribusi effluent

Kondisi alami bagi lahan basah buatan dimaksudkan agar tidak terjadi kondisi yang mengejutkan bagi tanaman air. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan awal dan efisiensi dapat ditingkatkan bila limbah yang masuk dialirkan dahulu ke kolam penampungan dengan waktu tinggal sampai dengan 24 hari. Selama waktu tinggal tersebut, dapat mengurangi 40% partikel tersuspensi yang berarti juga mengurangi nilai BOD₅.

Lahan basah buatan memberikan bermacam-macam keuntungan. Hal ini membuka daya tarik diantara bermacam-macam minat dari engineer, scientis dan mereka yang terlibat dalam pekerjaan mengenai fasilitas pengolahan air limbah, juga para environmentalis dan orang-orang yang mempunyai perhatian kepada pariwisata. Tidak sama dengan beberapa isu masalah air yang hanya untuk keuntungan satu kelompok tetapi tidak memberi keuntungan untuk kelompok yang lain. Keefektifan dari pelaksanaan lahan basah buatan ini dapat memberi manfaat yang luas kepada berbagai macam peminatan.

Teknik perlakuan lahan buatan dan metodologi menjanjikan keuntungan dimasa depan. Penelitian melakukan demonstrasi yang efektif dari proses alami untuk treatmen air limbah. Selanjutnya, dengan metode yang digunakan sederhana didalam suatu lahan, dan tepat guna serta tidak mahal, karena pada teknik ini tumbuhan dan mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses pengolahannya

Keuntungan yang lain dari lahan basah buatan adalah kemungkinan pengoperasian dan biaya perawatannya lebih murah dibandingkan dengan bangunan pengolahan limbah konvensional. Hemat energi dan fasilitas lahan buatan ini tidak perlu perhatian secara full time.

Bahan organik dan anorganik dalam lahan basah merupakan massa yang kompleks. Massa bahan-bahan ini terjadi dari perubahan interaksi gas/air meningkatkan berbagai komunitas dari mikroorganisme, memecah atau berubah bentuk menjadi berbagai macam substansi.

Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) merupakan sistem pengolahan limbah yang tepat guna untuk limbah pemukiman, perkotaan, industri dan pertanian yang mempunyai beberapa manfaat seperti

- Pengolahan yang efektif dan bangunan yang kokoh
- Hemat energi
- Biaya Lebih murah dibandingkan dengan sistem konvensional
- Memberikan nilai estetika, komersial dan dapat berfungsi sebagai habitat kehidupan liar
- Fleksibilitas Disain yang tinggi
- Merupakan solusi pemecahan masalah yang berkelanjutan.

Bahan-bahan terlarut dalam limbah organik terutama adalah senyawa nitrogen, karbohidrat, asam organik dan mineral-mineral. Sedangkan dalam bentuk padatan tersuspensi adalah protein, lemak dan jaringan ikat. Pencemar organik tersusun dari kombinasi karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan unsur penting lain seperti belerang, fosfor dan besi. Kelompok terpenting bahan organik yang ada pada air buangan adalah protein (40 % - 60 %), karbohidrat (25 % - 50 %), lemak dan minyak (10 %). Hasil penguraian bahan organik yang biodegradable oleh mikroba aerobik dapat menghasilkan unsur-unsur hara yang bersifat menyuburkan perairan, tetapi pada konsentrasi tertentu bisa membahayakan kehidupan organisme lain. Hal ini terjadi karena tidak adanya suplai oksigen dalam air dan terbentuk suasana anaerob terdeteksi dengan adanya bau yang disebabkan oleh adanya asam sulfat dan fosfin serta air berwarna kehitaman. Selain itu penguraian bahan organik dalam kondisi anaerobik juga menghasilkan HCN, metana, ammoniak, H₂S dan CO₂ yang merupakan bahan toksik bagi perairan dan menyebabkan kematian bagi flora dan fauna air. Selain berbau busuk, hidrogen sulfida bersifat korosif dan sangat racun (Metcalf and Eddy, 1991).

Aplikasi lahan basah buatan dalam membantu kinerja Waduk Setiabudi dengan luas permukaan air 2 m² dan menggunakan tanaman *Typha angustifolia* memperlihatkan bahwa terjadi pengurangan pencemar pada parameter yang diukur. Tabel 2. memperlihatkan efisiensi lahan basah buatan dalam mengurangi pencemar.

Tabel 2. Penurunan pencemar pada tiap perlakuan dan efisiensi lahan basah untuk tiap parameter

Parameter	Satuan	BM	Waktu tinggal								
			12 jam			24 jam			48 jam		
			inlet	outlet	Eff	inlet	outlet	Eff	inlet	outlet	Eff
COD	mg/L	30	109,9 5	60,25	45%	89,33	48,03	46 %	112,7 1	48,8	56%
BOD	mg/L	20	82,05	40,5	51%	61,35	44,55	27 %	84,5	31,5	63%
Phosfat	mg/L	0.5	1,268 5	1,129 5	11%	1,771	1,095	38 %	0,970 5	0,669 5	31%
Total Nitrogen	mg/L		23,82 5	12,83	46%	27,155	11,38	58 %	27,88	5	47%
Fenol (C ₆ H ₅ OH)	mg/L	0.00 2	0,125	0,075	40%	0,108	0,049 5	54 %	0,111 5	0,043	61%
Surfaktan (Detergen)	mg/L	0.5	1,99	0,98	51%	2,3205	0,833 5	64 %	1,756 5	0,357 5	80%
Minyak & Lemak	mg/L	Nihil	1,5	1	33%	2,2	0,95	57 %	2,2	1,1	50%

Tabel 2 memperlihatkan bahwa lahan basah buatan mampu menurunkan pencemar. Sedangkan hasil perhitungan secara statistik untuk melihat hubungan waktu tinggal dengan perubahan pencemar COD terlihat bahwa nilai R² pada waktu tinggal 12 jam sebesar 15 %, 24 jam sebesar 93 % dan 48 jam sebesar 3,6 %. Sedangkan laju penguraian di dalam unit lahan basah buatan dilihat dari parameter COD sebesar 0,61 – 6,67/hari.

Dari ketiga perlakuan di atas terlihat bahwa perlakuan 2 dengan waktu tinggal 24 jam mempunyai nilai keefektifan yang tinggi yaitu 93 %. Namun demikian dari ketiga perlakuan tersebut belum dapat menurunkan pencemar sampai di bawah baku mutu. Hal ini disebabkan lahan basah buatan bukan merupakan pengolahan yang dapat berdiri sendiri namun sebaiknya merupakan satu rangkaian dengan pengolahan lainnya. Nilai efisiensi lahan basah buatan tidak mampu untuk menurunkan pencemar sampai di bawah baku mutu.

Pemanfaatan unit lahan basah buatan dapat dirangkaikan dengan unit pengolahan sebelumnya dalam hal ini Waduk Setiabudi. Jadi jika Waduk Setiabudi dalam proses pengolahannya mampu menurunkan pencemar sebanyak 33 % maka bila dirangkaikan dengan unit lahan basah buatan maka efisiensi pengolahan dapat ditambah dengan efisiensi unit lahan basah buatan sebesar 45 – 57 %. Sehingga efisiensi dapat ditingkatkan dan reduksi pencemar dapat lebih ditekan.

Secara singkat, lahan basah buatan adalah suatu fasilitas pengolahan limbah yang merupakan duplikasi dari proses yang terjadi di dalam lahan basah alami. Lahan basah buatan adalah kompleks, perpaduan sistem dalam air, tanaman, hewan, mikroorganisme dan lingkungan (matahari, tanah, udara) yang merupakan suatu interaksi untuk meningkatkan kualitas air.

Proses penguraian bahan organik dalam lahan basah buatan akan berlangsung secara aerobik, dimana oksigen yang masuk ke dalam air berasal dari angin, fitoplanton dan tanaman air. Transformasi karbon yang berasal dari bahan organik akan diuraikan oleh mikroorganisme selanjutnya senyawa yang terbentuk setelah pemecahan tersebut dimanfaatkan oleh fitoplankton dan tanaman air yang membantu menyerap pencemar dalam air.

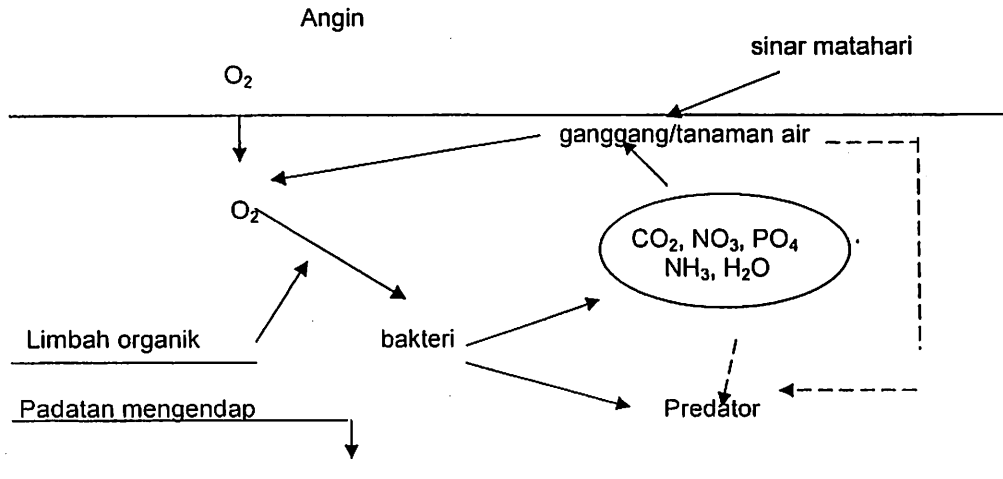
Bahan organik yang masuk dalam unit lahan basah buatan merupakan sumber makanan dan energi bagi mikroorganisme aerobik untuk pertumbuhannya, atau bahan organik ini mengalami stabilisasi dalam suasana aerob. Bakteri merupakan kunci dalam siklus biologi dimana berperan mengubah bahan-bahan organik terlarut menjadi sel-sel bakteri dan unsur-unsur anorganik. Antara algae dan bakteri terdapat hubungan simbiosis mutualisme, melalui proses fotosintesa dengan bantuan sinar matahari, algae akan menghasilkan oksigen yang melalui metabolisme aerobik bakteri akan menggunakan oksigen. Intensitas aktivitas mikroorganisme ini digambarkan dengan nilai BOD. Pada kondisi ini nilai BOD tinggi sedangkan nilai DO (*dissolved oxygen*) rendah, kemudian pada saat suplai makanan habis, aktivitas mikroorganisme menurun seiring dengan menurunnya BOD. Pada saat BOD turun, suplai oksigen dapat dipenuhi oleh atmosfer, sehingga keseimbangan perairan kembali normal. Hal ini dikenal dengan pemurnian diri (*self purification*).

Air limbah ternyata juga merupakan sumber air dan nutrisi yang berharga yang bisa digunakan untuk menyuburkan tanaman di lahan basah dan kebun. Ahli-ahli lahan basah telah menyimpulkan bahwa tidak hanya karena alami tetapi juga eko-sistem yang dirancang dan dibangun dengan baik sangat efisien untuk memanfaatkan dan membersihkan air yang mengandung banyak nutrisi itu.

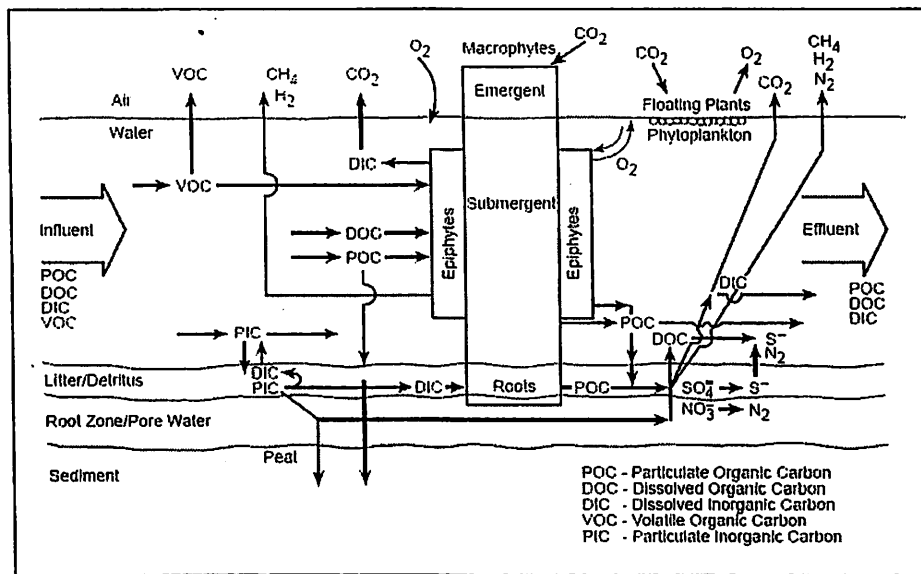
Proses yang terjadi dalam sistem lahan basah buatan untuk pengolahan air limbah adalah proses fisika, kimia dan biologi yang disebabkan adanya interaksi antara mikroorganisme, tanaman dan substrat. Yang berperan penting dalam proses ini adalah proses respirasi dan fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan air. Tumbuhan ini mampu menghisap oksigen dari udara melalui daun, batang, akar dan rhizomanya yang kemudian dilepaskan kembali.

Bahan organik dan anorganik dalam lahan basah merupakan massa yang kompleks. Massa bahan-bahan ini terjadi dari perubahan interaksi gas/air meningkatkan berbagai komunitas dari mikroorganisme, memecah atau berubah bentuk menjadi berbagai macam substansi.

Karena sistem ini tergantung pada tanaman hijau dan mikroba, akan lebih baik proses kerjanya apabila dilakukan di daerah yang banyak sinar matahari. Maka pendekatan ini sangat ideal untuk daerah beriklim sedang dan daerah tropis, secara digramatik proses tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Proses Penguraian Aerobik di Perairan



Gambar 2. Diagramatik proses yang terjadi dalam sistem lahan basah (Cole, 1998)

Pertimbangan teknis yang penting dalam mendesain sistem pengolahan limbah adalah karakteristik limbah, kualitas effluen yang diinginkan, tipe sistem akuatik, mekanisme penghilangan pencemar, faktor-faktor lingkungan, design parameter proses, design fisik dan proses yang handal.

Di dalam sistem perairan, limbah akan terurai secara alami oleh metabolisme bakteri dan sedimentasi fisik. Tanaman air juga mempunyai peran dalam pengolahan air limbah yaitu meningkatkan fungsi pengolahan limbah meskipun perannya tidak sebesar mikroba.

Perbedaan yang paling nyata antara sistem konvensional dengan sistem akuatik adalah pada sistem konvensional limbah terolah dengan cepat dengan tingkat pengoperasian yang sulit, membutuhkan energi tinggi seperti reaktor sedangkan pada sistem akuatik pengolahan yang terjadi relatif lambat dan tanpa perawatan seperti sistem alami. Konsekuensi dari kedua perbedaan tersebut 1) sistem konvensional membutuhkan konstruksi dan peralatan sedangkan pada sistem akuatik tidak, 2) proses-proses pada sistem konvensional membutuhkan kontrol yang lebih besar dibanding dengan sistem akuatik yang mengandalkan faktor lingkungan.

Sistem pengolahan akuatik dapat dikembangkan untuk pengolahan limbah tipe lahan basah dengan beberapa pertimbangan keuntungan seperti 1) kultur organisme akuatik (meningkatkan nilai jual), 2) perbaikan lingkungan (menciptakan habitat untuk kehidupan liar) dan 3) menampung pembuangan dari limbah non point. Jadi dalam design pengolahan limbah menggunakan lahan basah akan berbeda antara satu dengan lainnya tergantung dari tujuannya (Tchobanoglous, 1987). Tabel 3. memperlihatkan fungsi sistem akuatik.

Tabel 3. Fungsi tanaman dalam sistem akuatik

Bagian tanaman	Fungsi
Akar dan/atau batang dalam kolom air	<ul style="list-style-type: none"> • Mengambil pencemar • Tempat bakteri tumbuh menempel • Media filtrasi dan penyerap padatan
Batang dan/atau daun pada atau di atas permukaan air	<ul style="list-style-type: none"> • Pelindung dari cahaya matahari sehingga menghalangi tumbuhnya alga • Mengurangi efek dari angin pada air yang dapat mengadung bahan padatan • Mengurangi transfer gas dan panas antara atmosfer dan air

Tanaman air mempunyai kemampuan untuk menyerap berbagai polutan juga mengurangi COD dari limbah. *Typha* spp. bersama beberapa jenis tanaman lainnya seperti *Eichornia crassipes* (eceng gondok), *Pistisia stratiotes* (apu-apu), *Salvinia cucullata* (kiambang), sering digunakan dalam berbagai penelitian.

Ada empat tipe tanaman air yang dikenal, yaitu:

- **Oxygenerator Plant** (tanaman air oksigen):
Disebut sebagai tanaman air oksigen karena mampu memberihkan udara sekaligus menyerap kandungan garam yang berlebihan di dalam air. Seluruh bagian tanaman ini tenggelam dalam air. Berdasarkan cara perbanyakannya tanaman ini dibedakan dalam dua jenis, yaitu tanaman berakar (*rooted plant*) seperti *Echinodorus paniculatus*, dan tanaman bercabang (*branch plant*) seperti *Cabomba* dan *Talenthara lilaciana*.
- **Bog Plant** (tanaman air lumpur):
Habitat asli jenis tanaman ini adalah daerah yang berlumpur dan sedikit digenangi air, contohnya *Typhonadorum lindleyanum* (pisang air atau giant arum), dan *Typha angustifolia* (kembang tipa atau kembang coklat).
- **Marginal Plant** (tanaman air pinggir):
Tanaman jenis ini mudah sekali dijumpai, memiliki akar dan batang yang terendam dalam air, namun sebagian besar batangnya justru menyembul ke permukaan air, demikian pula daun dan bunganya. Beberapa contoh jenis tanamannya mirip dengan *bog plant*, seperti *Typha angustifolia*, *Cyperus alternifolius* (pepayungan), dan *Pontedoria cordata*.
- **Floating Plant** (tanaman air mengapung):
Pada jenis tanaman ini, akar tanaman tidak tertanam dalam tanah melainkan mengapung dipermukaan air. Tanaman ini hidup dari menyerap udara dan unsur hara yang terkandung di dalam air. Beberapa contohnya antara lain *Eichornia crassipes* (eceng gondok) dan *Pistisia stratiotes* (apu-apu).

Genus *Typha* (*Typha* spp.) merupakan herba akuatik air tawar yang tingginya dapat mencapai lebih dari 3 meter. Jenis-jenis *Typha* yang dikenal antara lain *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*, *Typha domingensis*, dan *Typha X glauca*.

Typha mempunyai struktur daun menyerupai pita dan bila dipotong secara melintang akan tampak adanya rongga udara. Anakan *Typha* muncul ke permukaan dengan menjalar dari rimpang-rimpang induk. Akar *Typha* berupa rimpang yang rebah horizontal dari dasar daun. Di habitat aslinya rimpang bisa mencapai panjang 70 cm dengan diameter 2 sampai 4 cm. Biasanya diperbanyak dengan memisahkan rimpang atau rumpunnya. Di alam, biji-bijinya yang ringan diterbangkan angin sehingga tersebar dan tumbuh menjadi tanaman baru Marianto (2003).

Typha dapat dijumpai pada *wetland*, padang rumput, aliran air yang bergerak lambat, aliran perairan, dan tepi danau. *Typha* dapat tumbuh pada permukaan air yang mempunyai ketinggian fluktuatif, misalnya pada saluran-saluan pinggir jalan, reservoir air atau area-area lahan basah lainnya (The Nature Conservancy, 2007).

Seperti diketahui tumbuhan tersebut digunakan sebagai bio indikator dalam air sebagai penghasil oksigen untuk proses pengolahan alami secara aerob. Tanaman yang digunakan memiliki fungsi sebagai filter padatan tersuspensi, sebagai tempat pertumbuhan bakteri, oksigen yang masuk kedalam akar berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penguraian polutan oleh bakteri pengurai dan memelihara substrat. Substrat yang digunakan yaitu kerikil, lumpur dan tanah subur sebagai penunjang

Tumbuhan ini mampu menghisap oksigen dari udara melalui daun, batang, akar dan rhizomanya yang kemudian dilepaskan kembali. Selain itu dari hasil penelitian yang dilakukan didapat bahwa pertumbuhan tanaman sangat subur, hal ini disebabkan karena tingginya kandungan limbah organik dalam air, khususnya fosfat dan nitrat. Yang berperan penting dalam proses ini adalah proses respirasi dan fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan air. Tumbuhan ini mampu menghisap oksigen dari udara melalui daun, batang, akar dan rhizomanya yang kemudian dilepaskan kembali. Selain itu tanaman air pada lahan basah buatan mempunyai peran dalam menyediakan lingkungan yang cocok bagi mikroba pengurai untuk menempel dan tumbuh (Reddy and Smith, 1987).

Dalam waktu kurang lebih 4 bulan, berat basah tanaman percobaan pada reaktor lahan basah buatan naik menjadi 4,5 sampai 5,5 kali lipat berat awal. Sementara berat basah "tanaman kontrol pada ember" hanya naik antara 2,5 sampai 3 kali lipat saja. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh perlakuan pada media/substrat.

Mikroorganisme mempunyai peran yang sangat penting dalam proses penguraian kandungan pencemar dalam air. Limbah dapat berfungsi sebagai nutrisi bagi mikroba. Dalam penelitian ini, untuk mengetahui jenis-jenis bakteri/mikroorganisme yang menempel, yang berperan dalam proses penguraian pencemar, maka dilakukan pengambilan contoh batang tanaman air (*Thypha*). Keberadaan mikroorganisme tersebut membantu terjadinya proses nitrifikasi dengan memanfaatkan nitrogen yang menghasilkan senyawa nitrat (NO_3^-) di dalam air. Di dalam air apabila konsentrasi zat organik semakin tinggi, maka konsentrasi nitrat pun akan semakin tinggi.

Hasil identifikasi air limbah ditemukan beberapa macam mikroorganisme. Masing-masing jenis mikroorganisme mempunyai peran berbeda. Gandjar dkk (1999) menyatakan seperti halnya kapang/jamur, mikroorganisme ini diketahui mempunyai kemampuan untuk mereduksi atau menghilangkan zat warna dan senyawa tannin.

Tabel 4. Identifikasi Bakteri Mikroskopis pada lahan basah buatan

No urut Bakteri	Mikroskopik - Bentuk bakteri	Gram		Genus
		Negatif	Positif	
1	Batang pendek	Negatif		<i>Moraxella, Brucella, Bordetella</i>
2	Batang kurus	Negatif		-
3	Batang	Negatif		<i>Pseudomonas</i>
4	Batang pendek/panjang	Negatif		<i>Acinetobacter</i>
5	Batang kecil	Negatif		<i>Actinobacillus, Pasteurella, Necromonas</i>
6	Coccus		Positif	<i>Micrococcus</i>
7	Coccus		Positif	<i>Staphylococcus</i>
8	Batang	Negatif		<i>E.coli</i>
9	Khamir			<i>Sacharomyces cereveae</i>
10	Kapang			<i>Trikoderma viridie</i>

Jenis mikroorganisme lainnya seperti *Micrococcus* dan *Actinobacillus* diketahui dapat menghasilkan probiotik yang merupakan bahan cairan atau cairan yang mengandung hara makro dan mikro yang diperlukan untuk memacu pertumbuhan tanaman. Dengan demikian keberadaan mikroorganisme menyebabkan tanaman *Thypha* tumbuh dengan subur.

Plankton bersifat kosmopolit (tersebar), dapat berkembang secara berlipat ganda dalam jangka waktu yang relatif singkat dan tumbuh dengan kerapatan tinggi tetapi kehadirannya dari satu tempat ke tempat lain karena kualitas air yang berbeda. Hal ini menjadi salah satu dasar bahwa plankton dapat dijadikan sebagai indikator kualitas air. Fitoplankton dan tumbuhan air merupakan dasar dari kehidupan ekosistem akuatik sehingga keberadaannya sangat diperlukan.

Fungsi fitoplankton di perairan adalah sebagai makanan bagi zooplankton dan beberapa jenis ikan serta larva biota yang masih muda, mengubah zat anorganik menjadi organik, dan mengoksigenasi air, nutrisi anorganik diabsorpsi dan diubah menjadi nutrisi organik melalui proses fotosintesis. Perairan yang banyak mengandung nitrogen dan fosfor merupakan sumber nutrisi bagi fitoplankton untuk perkembangbiakannya.

Berdasarkan hasil penelitian dan pengamatan melalui laboratorium ditemukan beberapa jenis fitoplankton yang terdiri dari kelas Cyanophyceae, Crysophyceae, Chlorophyceae dan Euglenophyceae. Kelimpahan fitoplankton pada bagian inlet sekitar 4917 individual/ m³ sedangkan pada bagian outlet sekitar 10319,5 individual/ m³.

Keberadaan fitoplankton cukup subur karena adanya nutrisi yang berasal dari air limbah seperti nitrogen dan fosfor. Keberadaan fitoplankton didalam perairan dengan proses fotosintesisnya merupakan menyumbang oksigen yang cukup baik untuk membantu degradasi limbah organik.

KESIMPULAN

1. Efisiensi lahan basah buatan dilihat dari parameter COD pada waktu tinggal 12 jam sebesar 45%, waktu tinggal 24 jam sebesar 46% dan pada waktu tinggal 48 jam sebesar 57%. Hasil perhitungan secara statistik untuk melihat hubungan waktu tinggal dengan perubahan pencemar terlihat bahwa nilai R² pada waktu tinggal 12 jam sebesar 15%, 24 jam sebesar 93% dan 48 jam sebesar 3,6%. Hasil uji ANOVA menunjukkan beda antar perlakuan pada tingkat kepercayaan 95% dan perlakuan yang terbaik adalah perlakuan 2 dengan waktu tinggal 24 jam.
2. Hasil identifikasi air limbah ditemukan beberapa macam mikroorganisme. Masing-masing jenis mikroorganisme mempunyai peran berbeda. Seperti halnya kapang/jamur, mikroorganisme ini diketahui mempunyai kemampuan untuk mereduksi atau menghilangkan zat warna dan senyawa tannin. Jenis mikroorganisme lainnya seperti *Micrococcus* dan *Actinobacillus* diketahui dapat menghasilkan probiotik yang merupakan bahan cairan atau cairan yang mengandung hara makro dan mikro yang diperlukan untuk memacu pertumbuhan tanaman. Dengan demikian keberadaan mikroorganisme menyebabkan tanaman *Thypha* tumbuh dengan subur.
3. Jumlah kelimpahan pada bagian inlet dengan rata-rata kelimpahan sekitar 4917 individual/m³, sedangkan pada bagian outlet dengan rata-rata kelimpahan sekitar 10319,5 individual/m³. Keberadaan fitoplankton cukup subur karena nutrisi yang berasal dari air limbah seperti nitrogen dan fosfor. Keberadaan fitoplankton didalam perairan dengan proses fotosintesisnya merupakan menyumbang oksigen yang cukup baik untuk membantu didalam mendegradasi limbah organik.
4. Dalam waktu kurang lebih 4 bulan, berat basah tanaman percobaan pada reaktor lahan basah buatan naik menjadi 4,5 sampai 5,5 kali lipat berat awal. Sementara berat basah "tanaman kontrol pada ember" hanya naik antara 2,5 sampai 3 kali lipat saja. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh perlakuan pada media/substrat.

DAFTAR RUJUKAN

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, and water Environment Federation. 1995. *Standard methods for examination of water and wastewater, 18th edition*. Washington, D. C.: APHA.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2007. *Pengembangan Teknologi Pemanfaatan Sumberdaya Hayati untuk Pembersihan Pencemaran Logam*. http://www.bppt.go.id/index.php?option=com_content&task=view&id=5733&Itemid, 9 Desember 2007.
- Byers, M. E., and F. S. Young, III. 1995. *Constructed Wetlands for Rural on-site Wastewater Treatment in Kentucky: Current effectiveness and Recommendations*. In proc.: *Versatility of Wetlands in the Agricultural Landscape*, ed. K. L. Campbell, 647-656. St. Joseph, MI: ASAE.
- Choate, K.D., J. T. Watson, and G. R. Steiner. 1993. *TVA's constructed wetlands demonstration*. In: *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, ed. G. A. Moshiri, (1993) page 509-516. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Cole, S., (1998), The Emergence of Treatment Wetlands. *Environmental Science & Technology* 32 (9): 218-223.

- Connel, D.W. and G.J. Miller., 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Jakarta:Penerbit Universitas Indonesia.
- Departemen Kehutanan Republik Indonesia. 2007. *Tipe Ekosistem*. 2 hlm. http://www.ujungkulon.net/tipe_ekosistem2.php, 9 Desember 2007.
- Gandjar, I., R.A. Samson, K.T. Vermeulen, A. Oetari, dan I. Santoso. 1999. *Pengenalan Kapang Tropik Umum*. Depok, Indonesia: Universitas Indonesia..
- Gelt, J., (1997), *Constructed Wetlands Using Human Ingenuity, Natural Processes to Treat Water, Build Habitat*. ARROYO 9 (4).
- Grady, C.P.L Jr and C.L. Hendry., (1980), *Biological Wastewater Treatment, Theory and Applications*. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.
- Lamb, J.C., (1985), *Water Quality and Its Control*. New York:John Wiley and Sons.,
- Lucy, W.M., (1995), *Mikrobiologi Lingkungan*. Universitas Hasanuddin Bekerjasama dengan Pusat Studi Lingkungan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta. 93-94.
- Mc Eldowney, S ; Hardman, D.J and Waite, S. 1993. *Pollution: Ecology and Biotreatment*. Longman Scientific & Technical
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. *Waste-water Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. 3 rd ed. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Mariato, L.A. 2003. *Tanaman Air*. AgroMedia Pustaka. Jakarta, 2003.
- Moshiri, G.A., (1993), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. London:Lewis Publishers.
- Natural Resources Conservation Service. 2007. *Classification for Kingdom Plantae Down to Species Typha angustifolia L.* 1 hlm. <http://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=profile&symbol=TYAN&dis>, 9 Desember 2007.
- Nemerow, N.L. 1991. *Stream, Lake, Estuary and Ocean Pollution*. New York: Van Nostrand Reinhold,.
- Pelczar. Jr. dan E.C.S. Chan. 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi* Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Puspita, L. E., Ratnawati., I.N.N. Suryadiputra., A.A. Aminah. 2005. *Lahan Basah Buatan di Indonesia*. Wetland Internasional. Indonesia.
- Reddy, K.R. and W.H. Smith. 1987. *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*. Magnola Publishing Inc, Florida.
- Salvato, J.A. 1992. *Environmental Engineering and Sanitation*, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sigee, D.C., 2004. *Freshwater Microbiology ; Biodiversity and Dinamic Interaction of Microorganism in the Freshwater Environment*. England:John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO198SQ
- Steiner, G.R., and D. W. Combs., (1993), *Small constructed wetlands systems for domestic wastewater treatment and their performance*. In: *Constructed Wetlands for water Quality Improvement*, ed. G. A. Moshiri, (1993) page 491-498. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Tanner, C.C and Kloosterman, V.C., 1997. *Guidelines for Constucted Wetland Treatment of Farm Dairy Wastewaters in New Zealand*. NIWA Science and Technology Series No. 48.
- Tchobanoglous, G. 1987. *Aquatic Plant for Wastewater Treatment : Engineering Considerations*. dalam Smith, W.H and Reddy, K.R., (1987). *Aquatic Plants for Water treatment and Resource Recovery*. Magnola Publishing Inc, Florida.
- Thomann, R.V dan J.A Mueller. 1987. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. New York: Harper Collins Publishers,.
- The Nature Concervancy. 2007. *Element Stewardship Abstract for Typha spp. North American cattails*. 7 hlm. <http://tncweeds.ucdavis.edu/esadocs/documents/typh.sp.pdf>, 9 Desember 2007.
- University of Alaska Agriculture and Forestry Station. 2005. *Wetlands and Wastewater Treatmen in Alaska Agroborealis* 36 (2).