

KECEPATAN PENYERAPAN ZAT ORGANIK VINASE DENGAN ECENG GONDOK KOMBINASI LUMPUR AKTIF

Hermawati^{1*}, Rochmadi², dan Panut Mulyono²

¹*Politeknik Bunda Kandung Jakarta*

²*Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada*

Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281, Telp 0274 902171

** Corresponding author, Tel: 08128597394, Email: embomin@yahoo.co.id*

ABSTRAK

*Limbah vinase dengan konsentrasi zat organik yang tinggi merupakan hasil samping produksi alkohol dari molase, berpotensi mencemari dan merusak lingkungan sehingga harus diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Eceng gondok dimanfaatkan untuk pengolahan limbah vinase. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi vinase maksimum di mana eceng gondok masih dapat tumbuh dan kecepatan penyerapan zat organik vinase menggunakan eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) dikombinasi lumpur aktif.*

Eceng gondok kombinasi lumpur aktif ditanam pada limbah vinase dalam bak berukuran 115 cm x 76 cm x 35 cm. Tinggi larutan vinase 31,5 cm. Massa eceng adalah sekitar 800 g. Larutan vinase diaduk menggunakan pompa agar homogen. Konsentrasi awal vinase antara 744 – 1880 mg/L. Setiap hari sampel diambil untuk dianalisis COD-nya, selama 8 hari

Hasil penelitian menunjukkan bahwa eceng gondok dapat tumbuh pada vinase dengan konsentrasi COD maksimum 1894 mg/L. Dengan model yang diajukan, kecepatan penyerapan zat organik (R_E) oleh eceng gondok kombinasi lumpur aktif

adalah $R_E = \frac{k_r}{H} Cl \frac{M}{V} + \frac{kXCl}{K_S + C_l}$ (mg/L)/jam, di mana nilai $k_r/H = 2,89 \times 10^{-6}$ (mg/L)jam. C_l adalah konsentrasi zat organik di larutan, H tetapan Henry, M massa eceng gondok, V volum vinase, dan X adalah konsentrasi lumpur aktif. Kecepatan penyerapan ini berlaku pada konsentrasi vinase berkisar antara 184 – 1880 mg/L dan X berkisar 504 - 520 mg/L. Efisiensi penyerapan kombinasi eceng gondok dengan lumpur aktif sekitar 52,34 – 78,57%.

Kata Kunci: vinase, eceng gondok, zat organik, dan lumpur aktif.

PENDAHULUAN

Vinase merupakan limbah hasil proses pembuatan spiritus dan alkohol, yang dilakukan dengan proses fermentasi terhadap molase (tetes tebu). Jumlah vinase murni yang dihasilkan dari proses fermentasi antara 7-28% dari total limbah, namun jika dibandingkan dengan penggunaan bahan dasarnya, volume vinase hampir sama besarnya dengan jumlah mollase yang digunakan [1]. Vinase mempunyai suhu antara 70 – 80°C, berwarna coklat, bau menyengat, pH rendah ($\pm 4,0$), konsentrasi zat kimia tinggi, memiliki nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi [2].

Pengolahan limbah vinase menggunakan eceng gondok dan lumpur aktif telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Penelitian sebelumnya telah mendapatkan kecepatan penyerapan zat organik vinase oleh eceng gondok [3]. Sekarang peneliti ingin mendapatkan kecepatan penyerapan zat organik oleh eceng gondok yang dikombinasikan dengan eceng gondok. Penggabungan eceng gondok dengan lumpur aktif dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh lumpur aktif terhadap kecepatan penyerapan vinase oleh eceng gondok.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi COD maksimum limbah vinase agar tanaman eceng gondok dapat tumbuh dengan baik dan

mendapatkan kecepatan penyerapan limbah vinase eceng gondok kombinasi dengan lumpur aktif.

Secara teori, zat organik (limbah) di air akan diserap oleh eceng gondok melalui akar-akarnya dan dibawa oleh pembuluh angkut ke seluruh bagian tanaman. Zat organik yang terserap dan akan bereaksi menjadi senyawa lain yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman. Sebagian zat organik yang terserap akan terakumulasi dalam batang tanaman.

Mikroba aerob maupun anaerob menggunakan zat organik (polutan) sebagai sumber makanan dan mendegradasi zat organik menjadi zat organik yang lebih sederhana atau menjadi karbondioksida. Berdasarkan fungsi dari lumpur aktif ini, maka penanaman eceng gondok yang dikombinasikan dengan lumpur aktif akan terjadi sinergi. Lumpur aktif mengubah zat organik kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah diserap oleh eceng gondok [4].

Proses penyerapan polutan oleh eceng gondok kombinasi dengan lumpur aktif dimodelkan berdasarkan persamaan neraca massa, berdasarkan asumsi yang diambil:

- i. Diantara proses tranfer massa (zat organik) polutan dari air ke batang lewat akar dan reaksi polutan secara biologi di batang, kecepatan reaksi biologi di tanaman adalah yang mengontrol.
- ii. Konsentrasi polutan di semua bagian tanaman eceng gondok dianggap homogen
- iii. Konsentrasi polutan di larutan dianggap selalu setimbang dengan konsentrasi di dalam batang, atau

$$C_l = H C_t \quad (1).$$

Kecepatan reaksi metabolisme dibatang adalah

$$R_E = k_r C_t \quad (2).$$

Larutan sistem *batch* pada proses penyerapan polutan oleh eceng gondok, kecepatan penurunan zat organik dalam larutan vinase dianggap sama dengan kecepatan reaksi zat organik secara biologi yang terjadi dalam batang.

$$\frac{dC_l}{dt} = -\frac{k_r}{H} C_l \frac{M}{V} \quad (3).$$

Selama proses penyerapan polutan oleh eceng gondok, eceng gondok mengalami pertumbuhan. Kecepatan tumbuh tanaman dipengaruhi oleh banyak faktor seperti massa tanaman, konsentrasi zat organik yang terserap ke dalam tanaman. Bertambahnya massa tanaman berarti jumlah akar, batang, dan daun yang bertambah banyak, sehingga kebutuhan nutrien juga besar. Faktor lain yang tidak teramatidapat diwakili oleh tetapan k_0 dan diekspresikan sebagai berikut:

$$\frac{dM}{dt} = \left(k_0 - k_1 \frac{C_l}{H} \right) M \quad (4).$$

Tanda negatif $-k_1$ adalah untuk menyatakan keracunan tanaman terhadap polutan.

Penurunan konsentrasi vinase pada proses reaksi oleh lumpur aktif karena lumpur aktif menggunakan zat organik (substrat) untuk pertumbuhan dan mengubah zat organik yang berat molekul besar menjadi berat molekul kecil dalam larutan vinase, berdasarkan pada persamaan Monod [5].

Lumpur aktif

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{k X C_l}{K_s + C_l} - K_d X \quad (5).$$

Kecepatan penurunan konsentrasi limbah vinase oleh eceng gondok yang dikombinasikan dengan lumpur aktif, dipengaruhi oleh kecepatan reaksi

polutan secara biologi dalam tanaman dan kecepatan reaksi penguraian zat organik oleh lumpur aktif seperti yang terdapat pada persamaan di bawah ini.

$$\frac{dC_l}{dt} = -\frac{k_r}{H} Cl \frac{M}{V} - \frac{kXC_l}{K_S + C_l} \quad (6).$$

Degradasi zat organik oleh lumpur aktif didapatkan berdasarkan Persamaan (5) dan kecepatan tumbuh eceng gondok berdasarkan Persamaan (4).

Penyelesaian Persamaan (4) sampai (6) dilakukan dengan metode numerik cara *stepwise* (metode Euler) [6]. Evaluasi konstanta menggunakan minimasi *sum square of error* (SSE) dengan bantuan solver di excel.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah tanaman eceng gondok diambil dari IPAL Fakultas Teknik UGM, dibersihkan dari kotoran dan tanah yang menempel pada akar. Eceng gondok yang digunakan memiliki spesifikasi berat antara 50 – 200 g per rumpun, jumlah daun 5 – 12 lembar/rumpun, panjang daun 6 – 15 cm, lebar daun 5 – 10 cm, tinggi tanaman 15 – 40 cm dan jumlah rumpun antara 7 -12 rumpun. Eceng gondok ditimbang dalam keadaan kering tiris. Lumpur aktif diambil dari IPAL PT Sari Husada.

Limbah vinase murni PT Pabrik Gula dan Spiritus Madubaru diencerkan menggunakan air untuk memperoleh konsentrasi COD yang diinginkan. komposisi zat organik vinase berdasarkan hasil analisis menggunakan GCMS dan analisis konvensional terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Zat Organik Yang Terdapat Pada Vinase PT Madukismo

Zat organik	Mol (%)
Etol	8,57
Asam asetat	52,74
Asam butanoat	8,67
2-pentadecanon	1,61
Asam palmitat	1,22
Olealdehid	1,21
2-oktadecanon	1,15
Gula total	3,34*
Total phenol	0,32*

* persen dalam berat/volume.

Alat yang digunakan adalah bak untuk menanam eceng gondok yang terbuat dari kayu yang dilapisi terpal dengan ukuran panjang 115 cm, lebar 76 cm dan tinggi 35 cm. Pompa yang berfungsi sebagai pengaduk agar limbah tercampur homogen.

Penelitian ini dilakukan di samping Laboratorium Praktikum Analisis Bahan Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Eceng gondok diaiklimatisasi pada air bersih untuk adaptasi tanaman terhadap limbah vinase selama 7 hari sebelum ditanam pada air limbah.

Uji pendahuluan dilakukan dengan penanaman eceng gondok pada limbah vinase yang konsentrasi antara 983 – 3127 mg/L COD untuk mendapatkan konsentrasi COD maksimum limbah vinase di mana eceng gondok dapat tumbuh dengan baik. Penanaman dilakukan pada ember dengan volume air 4 L dan berat tanaman eceng gondok antara 100 – 170 g/rumpun. Pertumbuhan eceng gondok diamati selama 10 hari.

Terdapat dua bak yang diisi lumpur aktif untuk diaiklimatisasi dengan menambahkan sedikit demi sedikit larutan vinase dan diberi pengadukan hingga lumpur aktif bisa hidup dan konsentrasi cenderung konstan.

Salah satu bak yang berisi lumpur aktif dan limbah yang telah diaklimatisasi hingga pertumbuhannya konstan dan konsentrasi limbah sesuai dengan uji pendahuluan, ditanami eceng gondok. Eceng gondok yang ditanam ditimbang dalam keadaan kering tiris pada awal dan akhir untuk mengetahui perkembangan pertumbuhan eceng gondok untuk setiap perlakuan konsentrasi awal. Limbah dan lumpur aktif diambil setiap hari untuk dianalisis COD dan konsentrasi lumpur aktifnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

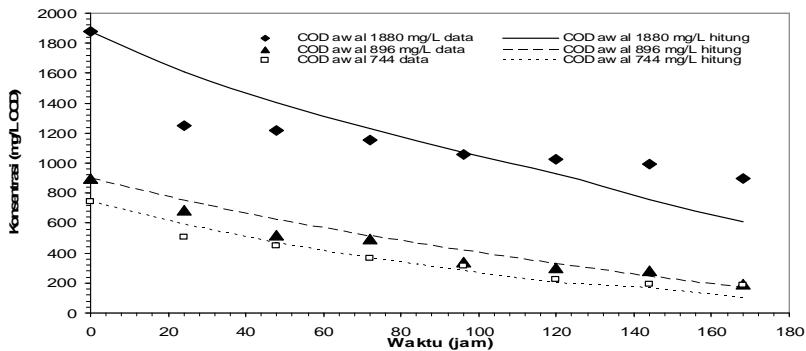
Uji pendahuluan mengamati kondisi visual tanaman eceng dan mendapatkan konsentrasi maksimum larutan vinase di mana eceng gondok dapat tumbuh dengan baik dilihat dari daun yang tetap segar dan tidak ada akar yang membusuk. Konsentrasi maksimum vinase adalah 1948 ppm COD. Dalam USDA [7] dikatakan bahwa tanaman memiliki batas resisten terhadap suatu zat. Di atas batas toleransinya, maka suatu zat akan menjadi racun bagi tanaman [8]. Data kondisi tanaman eceng gondok lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengamatan Kondisi Pertumbuhan Tanaman.

Konsentrasi (ppm COD)	Waktu (hari)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3127	baik	baik	baik	Layu	kuning	kering	Mati	-	-	-
2423	baik	baik	baik	baik	Baik	layu	kuning	daun	mati	-
1948	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik
1708	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik
1468	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik
1226	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik
1092	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik
983	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik	baik

Dilihat dari nilai COD vinase murni yang sangat tinggi, pengolahan limbah vinase menggunakan eceng gondok tidak efektif digunakan secara langsung dan hanya menjadi metode tambahan dari beberapa metode pengolahan limbah untuk vinase.

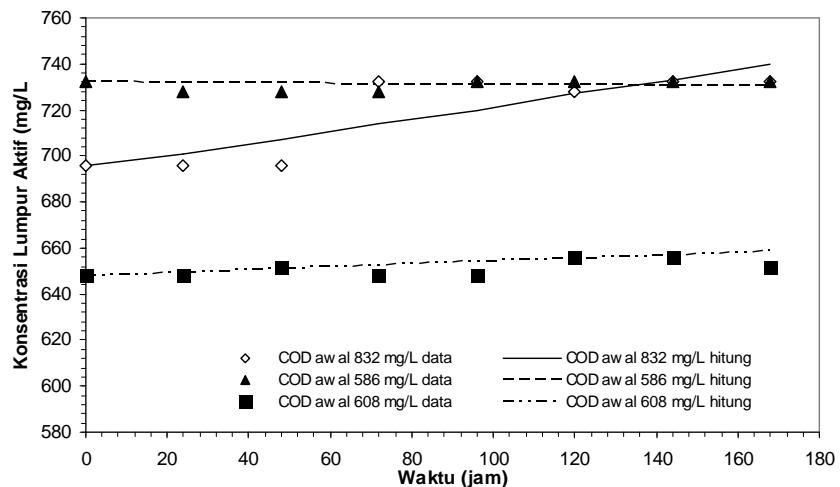
Dalam proses penyerapan vinase oleh eceng gondok yang dikombinasi dengan lumpur aktif terhadap limbah vinase, nilai COD vinase mengalami penurunan. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, penyerapan vinase oleh eceng gondok tanpa lumpur aktif [3], penyerapan lebih besar pada proses penyerapan vinase oleh eceng gondok yang dikombinasi dengan lumpur aktif. Hal ini karena lumpur aktif menggunakan zat organik untuk pertumbuhan dan mendegradasi zat organik menjadi molekul yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah diserap dan dimanfaatkan untuk metabolisme eceng gondok [9]. Gambar 3 menunjukkan penurunan COD terhadap waktu proses penyerapan oleh eceng gondok kombinasi lumpur aktif.



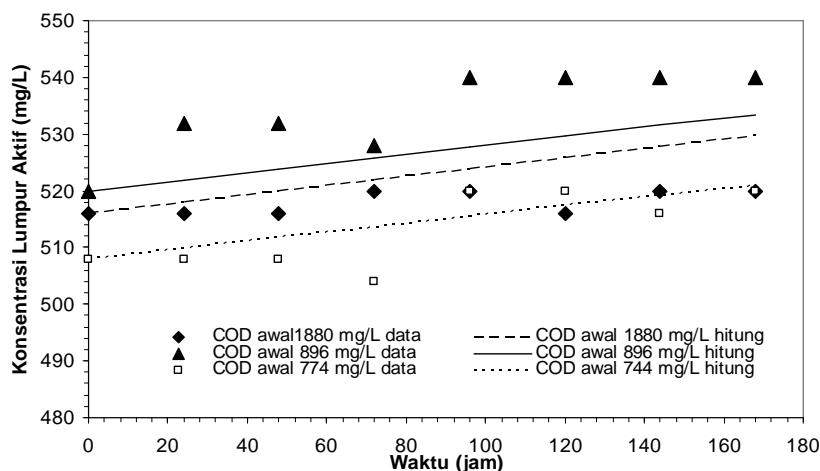
Gambar 3. Konsentrasi COD dengan Waktu untuk Kombinasi Eceng Gondok dan Lumpur Aktif.

Selama penanaman, massa eceng gondok bertambah. Hal ini berarti zat organik dalam vinase yang terserap ke tanaman digunakan dalam proses metabolisme dan pertumbuhan. Pertambahan massa yang paling besar terutama pada perlakuan konsentrasi awal rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi kecil kebutuhan zat organik untuk pertumbuhan sudah cukup. Eceng gondok yang ditanam pada limbah yang konsentrasi zat organiknya tinggi masih dapat menyerap zat organik, namun sebagian hanya terakumulasi dalam tanaman yang mungkin menghambat proses reaksi metabolisme dalam tanaman [10].

Konsentrasi lumpur aktif cenderung konstan. Keadaan ini menunjukkan bahwa vinase dapat menjadi sumber makanan bagi mikroba namun tidak semua zat organik dalam vinase dapat didegradasi karena nilai COD vinase yang tinggi berarti vinase mengandung zat organik sulit didegradasi [5]. Gambar 4 dan 5 memperlihatkan konsentrasi lumpur aktif data dan konsentrasi lumpur aktif hitung pada proses penyerapan vinase oleh lumpur aktif dan eceng gondok yang dikombinasi dengan lumpur aktif.



Gambar 4. Konsentrasi Lumpur Aktif Versus Waktu



Gambar 5. Grafik Konsentrasi Lumpur Aktif Versus Waktu Untuk Kombinasi Eceng Gondok dan Lumpur Aktif.

Nilai konstanta k , K_s , dan K_d yang didapatkan selain Y lebih kecil dari kisaran konstanta lumpur aktif untuk mendegradasi limbah domestik yang terdapat pada Tchobanaglous [5] karena pada proses degradasi vinase, mikroba aerob dan anaerob digunakan secara bersamaan, kondisi suhu yang tidak dikontrol, dan jenis limbah yang berbeda. Konstanta k , K_s , Y, dan K_d pada proses degradasi vinase oleh lumpur aktif digunakan untuk mendapatkan konstanta penyerapan pada proses penyerapan vinase oleh eceng gondok yang dikombinasikan dengan lumpur aktif seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konstanta Penyerapan Vinase oleh Lumpur Aktif.

Konstanta	COD awal 832 mg/L	COD awal 586 mg/L	COD awal 608 mg/L	Rata-rata
k (1/jam)	0,0023	0,0023	0,0032	0,0026
K_s (mg/L)	2,6685	2,04	1,44	2,0484
Y				
$\left(\frac{\text{mg / L lumpur aktif}}{\text{mg / L substrat}} \right)$	0,4	0,4	0,4	0,4
K_d (1/jam)	0,00052	0,0009	0,0012	0,0009

Nilai k_0 , k_1 dan k_r/H pada proses penyerapan oleh eceng gondok yang dikombinasikan dengan lumpur aktif terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Konstanta Penyerapan Vinase oleh Eceng Gondok.

Konsentrasi awal	Konstanta		
	k_0 (1/jam)	k_1/H (1/(mg/L).jam)	k_r/H (1/(mg/L).jam)
COD awal 1856 mg/L	0,0510	$4,07 \times 10^{-5}$	$2,73 \times 10^{-6}$
COD awal 1104,21 mg/L	0,0134	$2,19 \times 10^{-5}$	$2,30 \times 10^{-6}$
COD awal 440 mg/L	0,0454	0,000106	$3,63 \times 10^{-6}$
Rerata	0,0366	$5,64 \times 10^{-5}$	$2,89 \times 10^{-6}$

Kecepatan penyerapan limbah oleh eceng gondok kombinasi lumpur aktif dengan konsentrasi limbah dapat diketahui berdasarkan persamaan 6 berkisar antara 2,57 - 17,086 (mg/mg eceng gondok)/jam.

Pada perlakuan konsentrasi awal yang rendah efisiensi penyerapan zat organik lebih besar. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi awal rendah lebih banyak terjadi proses penyerapan oleh eceng gondok. Pada konsentrasi tinggi mendekati batas keracunan pada eceng gondok menyebabkan penyerapan lebih rendah.

Tabel 5 menunjukkan efisiensi penyerapan setiap konsentrasi awal limbah vinase untuk setiap perlakuan.

Tabel 5. Efisiensi Penyerapan Zat Organik Vinase.

Perlakuan	Konsentrasi awal (mgL COD)	Konsentrasi akhir (mgl COD)	Efisiensi Penyerapan (%)
Pemberian lumpur aktif	832	586	29,57
	586	304	48,12
	608	312	48,68
Kombinasi eceng gondok dan lumpur aktif	1880	896	52,34
	896	192	78,57
	744	184	75,27

KESIMPULAN

- Eceng gondok dapat tumbuh dengan baik pada limbah vinase di bawah konsentrasi 1948 mg/L COD.
- Penambahan lumpur aktif pada penanaman eceng gondok dapat mempertinggi kecepatan penyerapan zat organik vinase.
- Berdasarkan model kecepatan penyerapan yang digunakan nilai konstanta k_0 , k_1/H , dan k_r/H masing-masing $0,03661579/\text{jam}$, $5,64 \times 10^{-5}/(\text{mg/L})\text{jam}$, dan $2,89 \times 10^{-6}/(\text{mg/L})\text{jam}$. Konstanta ini berlaku pada konsentrasi vinase berkisar antara 184 – 1880 mg/L dan konsentrasi lumpur aktif berkisar 504 -520 mg/L.

SIMBOL

- C_t = konsentrasi zat organik dalam tanaman (mg/mg eceng gondok)
 C_i = konsentrasi zat organik limbah vinase awal (mg/L COD).
 R_E = kecepatan penyerapan zat organik vinase (mg/mg eceng gondok)/ jam.
 M = massa eceng gondok rata-rata (mg).
 t = waktu (jam)
 X = konsentrasi lumpur aktif (mg/L).
 k_0 = konstanta pertumbuhan eceng gondok (1/jam).
 k_1 = konstanta keracunan eceng gondok (1/jam).
 k_r = konstanta reaksi dalam tanaman eceng gondok (1/jam).
 H = tetapan Henry ((mg/L)/(mg/ mg)).
 k = konstanta kecepatan spesifik maksimum subsrat (zat organik) (1/jam).
 K_s = konstanta pertumbuhan substrat (mg/L).
 Y = yield lumpur aktif $\left(\frac{\text{mg} / \text{L} \text{ lumpur aktif}}{\text{mg} / \text{L substrat}} \right)$.
 K_d = konstanta kematian lumpur aktif (1/jam).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ditjen Dikti yang telah memberikan beasiswa BPPS sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Nofirman, 1998, "Studi Penyebaran Unsur K⁺ dan NO₃ Yang Berasal dari Vinase Dalam Air Tanah Dangkal Di Daerah Sekitar Pabrik spiritus Palimanan, Kab. Cirebon", tesis, ITB.
- Santoso, U., 2007, " Jurnal dwimingguan Laboratorium PT Madukismo".
- Hermawati, 2008, " Kecepatan Penyerapan Zat Organik Vinase oleh Eceng Goondok".
- Rittmann, B.E., McCarty, P.L., 2001, "Environmental Biotechnology: Principles and Application", Mc Graw Hill, New York.
- Tchobanoglous, G., Burton, L.F., and Stensel, H.D., 2003, " Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", 4th ed., McGraw-Hill, New York.
- Mickley, H. S., Sherwood, T. K., Reed, C. E., 1975, "Applied Mathematics In Chemical Engineering", Tata McGraw-Hill Publishing Company LTD, New Delhi.
- USDA, 2002, "Environmental Engineering National Engineering Handbook", United States Department of Agriculture, Washington, DC.
- Khiatuddin, M., 2003, "Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buatan", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Burton, J., 2005, "Water hyacinth *Eichhornia crassipes*", Agfact, NSW Department of Primary Industries, New South Wales.
- Pivetz, B. E., 2001, "Ground Water Issue", U.S. Environmental Protection Agency EPA 540-S-01-500, Washington, DC.