

PENGOLAHAN LUMPUR TINJA DENGAN DIGESTER AEROBIK ALIRAN KONTINYU

SEPTAGE TREATMENT BY CONTINUOUS AEROBIC DIGESTION

Ipung Fitri Purwanti
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya
email: purwanti@enviro.its.ac.id

Abstrak

Masalah tinja menjadi persoalan tersendiri, terutama berkaitan dengan kandungan jasad hidup berbentuk bakteri, fungi dan jamur yang bersifat patogen dan penghasil racun. Dalam 125-300 g tinja manusia terkandung sekitar 300 milyar bakteri coli form. Kehadiran bakteri coli dalam bahan makanan dan minuman, sangat tidak diharapkan karena bisa menyebabkan penyakit. Di sisi lain, kandungan nutrisi yang tinggi dalam tinja merupakan sumber pupuk organik yang paling lengkap dan baik untuk segala jenis tanaman. Dalam penelitian ini lumpur tinja distabilisasi dengan digester aerobik sistem kontinyu. Variasi yang dilakukan pada reaktor digester aerobik adalah *solid retention time*-SRT (umur lumpur) sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 hari. Parameter yang diteliti adalah TSS, VSS, kadar air, rasio C/N, bakteri coliform, pH, dan suhu. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh dari variasi SRT terhadap penyisihan parameter VSS. Reduksi kandungan organik (VSS) terbesar dicapai pada SRT 50 hari yakni 27,55%. Prosentase penyisihan terbesar untuk parameter bakteri coliform tercapai pada SRT 20 hari, yakni 99,79% namun masih belum bisa diaplikasikan ke tanah. Nilai C/N lumpur tinja pada SRT 50 hari adalah 6,12.

Kata kunci: digester aerobik, lumpur tinja, solid retention time

Abstract

Septic tank's nightsoil becomes a specific problem, especially its microbial content which comprises pathogenic and toxin producing bacteria, mold and fungi. About 300 billion coliform bacteria exists in 125-300 g of human faeces. Coliform bacteria in food-stuff and beverages are unwanted because it may cause disease. In contrast, the high nutrient content represents the human faeces as the most complete organic manure, which is good to apply for all crop types. In this research septage was stabilized by continuous aerobic digester. The experiment variations in aerobic digester reactor included solid retention time (SRT) of to 10, 20, 30, 40, and 50 days. The observed parameters were TSS, VSS, humidity, C/N ratio, coliform bacteria, pH, and temperature. Results of this research showed the existence of influence of SRT variation to the removal of VSS parameter. The highest removal of organic matter (VSS) of 27,55% was achieved in SRT of 50 days. The highest removal of coliform bacteria (99.79%) was reached in SRT of 20 days. This product, however, could not be directly applied yet for soil treatment. C/N ratio in 50 day SRT was 6,12.

Keywords: aerobic digester, septage, solid retention time

1. PENDAHULUAN

Lumpur tinja menurut EPA (1994) adalah buangan organik terdiri dari campuran lumpur, bahan-bahan yang mengandung lemak, dan air buangan yang merupakan endapan hasil pemompaan suatu tangki septik. Karakteristik ini membuat lumpur tinja sulit untuk diolah dan ditangani. Bila dibandingkan dengan air buangan domestik, lumpur tinja bersifat lebih pekat. Beberapa parameter diantaranya BOD₅, TSS, lemak dan minyak, pasir (*grit*), bau, dan nutrisi juga menunjukkan bahwa karakteristik lumpur tinja melebihi air buangan domestik. Lumpur tinja mempunyai konsentrasi BOD

sekitar 30-50 kali lebih tinggi daripada buangan domestik, sedangkan konsentrasi *suspended solids* lebih tinggi 10-50 kali konsentrasi pada air buangan domestik. Begitu juga dengan konsentrasi nitrogen dan phosphor. Konsentrasi nitrogen yang terkandung dalam lumpur tinja lebih tinggi 2-5 kali konsentrasi air buangan domestik, sedangkan konsentrasi phosphor lebih tinggi 20-50 kali konsentrasi air buangan domestik.

Pembuangan lumpur tinja secara langsung ke lingkungan dapat menimbulkan permasalahan, diantaranya timbulnya organisme penyebab penyakit, timbulnya bau dan menurunnya kualitas air ta-

nah akibat terkontaminasi oleh lumpur tinja. Pengolahan lumpur dimaksudkan untuk mendapatkan kualitas lumpur yang tidak mencemari jika diaplikasikan ke tanah. Salah satu pengolahan lumpur adalah proses stabilisasi lumpur yakni digester aerobik.

Beberapa alternatif pengolahan dan pembuangan lumpur menurut EPA (1994) adalah:

1. Pengolahan tersendiri
2. Pengolahan yang bercampur IPAL
3. Pembuangan yang bercampur dengan sampah di *landfill* atau area komposting.
4. Aplikasi ke tanah (*land application*)
Aplikasi ke tanah diterapkan pada area non publik, dapat berupa area pertanian. Pembuangan lumpur tinja ke area ini dapat dilakukan dengan langsung membuang ke permukaan tanah atau di bawah permukaan tanah. Hal yang menjadi perhatian adalah kemungkinan terjadinya kontaminasi pada air tanah, kemungkinan timbulnya bau dan adanya resiko terhadap kesehatan.

Proses pengolahan lumpur bertujuan untuk menurunkan kadar air dalam lumpur dan menghilangkan bahan-bahan organik yang masih terkandung dalam lumpur. Salah satu alternatif pengolahan lumpur adalah menstabilkan lumpur dengan menggunakan proses diges, baik aerobik maupun anaerobik.

Proses diges aerobik merupakan proses stabilisasi lumpur yang memanfaatkan mikroorganisme aerobik untuk mengonsumsi zat organik yang dapat terurai yang terkandung dalam lumpur. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk menghasilkan produk yang stabil secara biologis yakni dengan mengurangi volume dan massa lumpur. Hasil akhir yang diharapkan adalah lumpur dengan karakteristik pengendapan yang bagus sehingga relatif lebih mudah untuk diolah lebih lanjut (pengeringan). Dalam proses diges aerobik, ketersediaan 'makanan' (substrat) sangat terbatas sehingga menyebabkan mikroorganisme akan mengonsumsi protoplasmanya sendiri untuk mendapatkan energi bagi kelangsungan hidupnya (respirasi *endogenous*). Hal ini menyebabkan konsentrasi biomassa akan berkurang secara kontinyu hingga tinggal beberapa bagian yang stabil secara biologis dan dapat dibuang ke lingkungan.

Beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam pengoperasian digester aerobik adalah tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Disain Kriteria Digester Aerobik

No.	Parameter	Nilai
1	<i>Solid retention time</i> (SRT), hari - pada 20°C - pada 15°C	40 60
2	<i>Volatile Solid loading</i> , kg/m ³ .hari	1,6 – 4,8
3	Oxygen requirement, lb O ₂ / lb solid destroyed - cell tissue	≅ 2,3
4	- BOD ₅ lumpur BP I	1,6 – 1,9
4	Energi untuk pengadukan - aerator mekanis, hp/10 ³ ft ³ - <i>diffused-air mixing</i> ft ³ /10 ³ ft ³ .min	0,75 – 1,50 20 – 40
5	Sisa DO, mg/l	1 – 2
6	Penurunan VSS, %	38 – 50

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2003

Selain kriteria disain tersebut, Reynold dan Richard (1996) memberikan disain kriteria untuk beberapa parameter lain seperti tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Disain Kriteria Digester Aerobik

No.	Parameter	Nilai
1.	<i>Hydraulic Detention Time</i> , hari dalam 20°C Lumpur <i>primary</i> dan <i>activated sludge</i> atau <i>trickling filter</i> Lumpur <i>activated sludge</i> dari biosorpsi atau kontak stabilisasi (tanpa pengendap primer) Lumpur <i>activated sludge</i>	18-22 16-18 12-16
2.	Konsentrasi solid, mg/l	s/d. 50.000
3.	<i>Volume loading</i> ft ³ per kapita m ³ per kapita	1,5-4,0 (0,042-0,113)
4.	Temperatur operasi	>15°C
5.	<i>Solid destruction</i> , %	35-55

Sumber : Reynold dan Richard, 1996

Beberapa keunggulan digester aerobik dibandingkan dengan digester anaerobik (Reynold dan Richard, 1996) antara lain:

- Menghasilkan produk akhir yang stabil secara biologis
- Dapat dibuang dengan 'aman', karena tidak berbau, dan mengandung humus.
- Biaya yang dibutuhkan lebih rendah daripada digester anaerobik.
- Memproduksi lumpur dengan karakteristik yang baik untuk proses dewatering terutama

jika digunakan bak pengering lumpur (*sand drying bed*).

- Konsentrasi BOD pada supernatan lebih rendah daripada yang dihasilkan oleh digester anaerobik, yaitu kurang dari 100 mg/l.
- Operasionalnya lebih mudah.
- Lumpur dari digester aerobik mempunyai nilai fertilisasi lebih tinggi daripada lumpur yang dihasilkan oleh digester anaerobik.

Sedangkan kekurangannya, antara lain:

- Efisiensi penurunan solid bervariasi dengan fluktuasi temperatur.
- Perlu suplai oksigen, mengakibatkan tingginya biaya.

Beberapa parameter kinerja digester aerobik adalah:

1. Temperatur
2. Solid Retention Time (SRT)
3. Waktu detensi (*hydraulic detention time*)
4. Kebutuhan Oksigen
Benefield dan Randall (1980), kebutuhan oksigen yang disuplai dalam digester aerobik adalah berdasarkan pada karakteristik lumpur yang akan diolah seperti yang dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan Oksigen untuk Beberapa Karakteristik Lumpur

Tipe Lumpur	Kebutuhan oksigen (mg O ₂ /h-g VSS)
Pengendap pertama	20-40
Lumpur dari <i>activated sludge</i> konvensional	10-15
Lumpur dari <i>extended aeration activated sludge</i>	5-8
Lumpur dari <i>contact-stabilization activated sludge</i>	10
<i>Single-stage aerobic digester</i>	2-4
<i>Two-stage aerobic digester</i>	0,5-2,4

Sumber : Water Pollution Control Federation (1976) dalam Benefield dan Randall (1980)

Reynold dan Richard (1996) menjelaskan bahwa digester aerobik dapat dioperasikan secara *batch* ataupun kontinyu, tetapi mayoritas sistem yang dipakai adalah aliran kontinyu. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui lebih mendalam kemampuan digester aerobik khususnya aliran kontinyu dalam mengolah lumpur tinja. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja dari digester aerobik adalah *solid retention time* (SRT).

Dalam kaitan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh SRT terhadap kinerja

digester aerobik, mengkaji besarnya penyisihan konsentrasi VSS dan bakteri coliform dan besarnya nilai C/N yang bisa dicapai pada saat nilai SRT optimum.

2. METODE PENELITIAN

Reaktor yang digunakan adalah digester aerobik sistem kontinyu terbuat dari kaca dengan ketebalan 8 mm. Variasi yang dilakukan pada bak digester aerobik ini adalah SRT. Pada penelitian ini SRT divariasikan dalam nilai 10, 20, 30, 40, dan 50 hari. Reynold dan Richard (1996) menjelaskan bahwa *hydraulic detention time* (HDT) pada digester aerobik adalah 12-16 hari (pada suhu 20°C). Temperatur operasi pada digester aerobik (suhu ruang) adalah 28°C, dan koefisien temperatur 1,02 sehingga waktu detensi sebesar 10 hari.

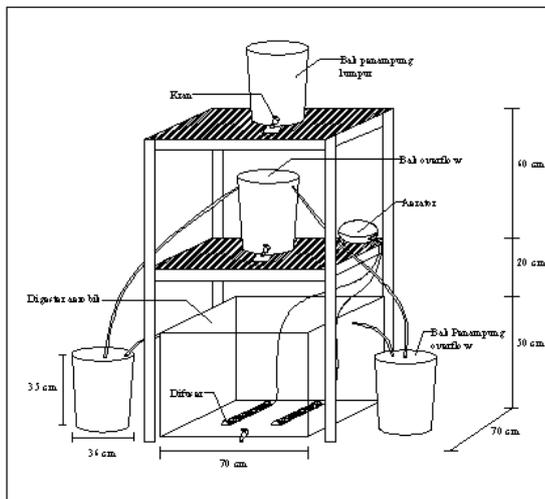
Reaktor digester aerobik dilengkapi dengan saluran *overflow* sesuai dengan waktu detensi yang ditetapkan yakni 10 hari. Kuantitas udara yang digunakan tergantung dari besarnya konsentrasi VSS yang diukur dalam penelitian pendahuluan. Suplai udara pada reaktor didapatkan dari kompresor yang dialirkan lewat diffuser guna proses pengadukan.

Reaktor pembantu menampung sejumlah lumpur tinja berasal dari bak penampung lumpur yang kemudian akan dialirkan secara kontinyu ke dalam reaktor digester aerobik. Volume reaktor pembantu dan bak penampung lumpur adalah 25 liter. Pada reaktor pembantu dilengkapi *overflow* untuk menjaga agar head tetap konstan. Sedangkan proses pengaliran dari reaktor pembantu menuju ke digester dibantu dengan kran ulir untuk pengaliran debit konstan secara kontinyu, dengan debit direncanakan 15 ml/menit. Gambar 1 menunjukkan rangkaian reaktor yang digunakan.

Penelitian ini didahului dengan uji pendahuluan berupa pengukuran beberapa parameter dalam lumpur tinja selama enam hari untuk mengetahui karakteristik rata-rata lumpur tinja. Parameter yang diteliti adalah TSS, VSS, bakteri coli, C/N, kadar air, pH dan suhu. Lumpur tinja yang digunakan terlebih dahulu didiamkan selama 24 jam.

Tahap selanjutnya adalah *running* reaktor yang telah disiapkan. Variasi yang dilakukan pada digester aerobik adalah SRT yakni 10, 20, 30, 40, dan 50 hari sedangkan waktu detensi ditetapkan 10

hari. Parameter-parameter yang diukur pada lumpur tinja yang telah mengalami proses diges adalah TSS, VSS, C/N, bakteri coli.



Gambar 1. Skema Reaktor yang Digunakan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik awal lumpur tinja. Karakteristik fisik yang dapat diamati dari lumpur tinja dari tangki truk tinja adalah bau yang menyengat. Keadaan tersebut akibat pengolahan sebelumnya yakni pada tangki septik dengan pengolahan secara anaerobik. Berdasarkan hasil uji pendahuluan, karakteristik lumpur yang diperoleh mempunyai nilai yang bervariasi. Nilai yang dijadikan acuan adalah nilai rata-rata dalam enam hari pengamatan tersebut. Adapun nilai parameter yang diuji dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil karakterisasi awal lumpur tinja

Parameter	Satuan	Pengambilan ke-						Rata-rata
		1	2	3	4	5	6	
TSS	mg/l	5.030	46.760	41.460	4.170	46.680	2.184	24.380,67
VSS	mg/l	3.410	33.620	34.020	3.280	38.460	1.716	19.084,33
Carbon	mg/l	1.894,44	18.677,78	18.900	1.822,22	21.366,67	953,33	10.602,41
Nitrogen	mg/l	176,66	418,05	457,4	170,36	433,8	170,36	304,44
C:N	mg/l	10,72:1	44,68:1	41,32:1	10,70:1	49,25:1	5,60:1	27,04:1
Bakteri coli	MPN/ 100ml	3,4E+09	1,7E+11	9,0E+12	8,0E+10	1,6E+15	9,0E+11	2,7E+14
Kadar air	%	99,53	95,29	95,21	99,45	95,50	99,51	97,41
pH	-	7,04	6,94	6,85	7,10	7,11	7,02	7,01
Suhu	°C	28	28	28	28	28	28	28,00

Penentuan volume reaktor dan kebutuhan udara

Penelitian pendahuluan menunjukkan besarnya konsentrasi VSS adalah 19.084 mg/l (Tabel 4). Dengan debit aliran kontinu 15 ml/menit didapatkan besarnya produksi lumpur adalah 0,206 Kg. Metcalf dan Eddy (2003) menjelaskan bahwa densitas lumpur dari unit pengendap pertama adalah 1.020 Kg/m³, sehingga volume lumpur yang dihasilkan selama 50 hari adalah 2,02.10⁻⁴ m³.

Dengan mengacu pada waktu detensi yang digunakan yakni 10 hari, volume supernatan yang dihasilkan adalah 0,216 m³. Volume total reaktor didapatkan dengan menambahkan volume lumpur dan supernatan, yakni 0,216 m³. Reaktor dirancang secara *open tank*. Sehingga untuk mencegah reaktor yang meluber volume reaktor dite-tapkan 250 liter, dengan dimensi reaktor adalah panjang = lebar = 70 cm dan tinggi = 50 cm. Letak saluran *overflow* adalah 44 cm dari dasar reaktor digester.

Berdasarkan nilai rata-rata VSS (19.084 mg/l) dihitung kebutuhan udara yang akan disuplai secara konstan ke dalam reaktor. Pada penelitian ini volume sampel yang digunakan adalah 250 liter, maka kebutuhan oksigen yang diperlukan adalah 47,04 g/hari. Suplai oksigen yang diberikan berupa udara yang berasal dari aerator dengan pengatur debit udara. Beberapa asumsi yang digunakan adalah prosentase oksigen di udara sebesar 23%; BJ udara sebesar 1,20 g/l pada suhu 25°C, 1 atm dan besarnya absorpsi udara ke air adalah 5% (Polprasert, 1989), maka besarnya suplai udara yang diberikan secara konstan pada reaktor adalah sebesar 1,35 liter/menit.

Stabilisasi Lumpur

Tahap stabilisasi lumpur dilakukan pada reaktor kontinyu berkapasitas 250 liter. Debit lumpur tinja yang dialirkan secara kontinyu adalah 15 ml/menit.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari tangki truk tinja. Pengambilan sampel dilaksanakan setelah reaktor siap dioperasikan. Karena itulah karakteristik sampel ini sedikit berbeda dengan hasil rata-rata pada penelitian pendahuluan. Karakteristik inilah yang digunakan sebagai karakteristik lumpur pada SRT 0 hari. Karakteristik sampel yang digunakan adalah seperti tercantum pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Karakterisasi Lumpur Tinja pada SRT 0 hari

Parameter	Satuan	Konsentrasi
TSS	mg/l	27.200
VSS	mg/l	19.600
Carbon	mg/l	10.889
Nitrogen	mg/l	1.078
C:N	-	10,10:1
Kadar air	%	99,88
pH	-	7,5
Bakteri coli	MPN/100ml	1,6E+09
Suhu	°C	31

Selama proses stabilisasi lumpur, dilakukan pengambilan sampel pada saat SRT 10, 20, 30, 40 dan 50 hari. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan dan penurunan nilai TSS dan VSS. Peningkatan nilai TSS dan VSS dapat disebabkan karena masih adanya mikroorganisme aerobik yang berada pada fase pertumbuhan (eksponensial). Pertumbuhan itu dimungkinkan terjadi karena kualitas lumpur yang terpompa dari tangki septik ke tangki truk tidak seragam.

Sedangkan penurunan kandungan TSS dan VSS dapat disebabkan karena terbatasnya kandungan bahan organik sebagai substrat dalam lumpur tinja. Hal ini menyebabkan mikroorganisme mengkonsumsi protoplasmanya sendiri untuk mendapatkan energi bagi kelangsungan hidupnya.

Tabel 6 menunjukkan konsentrasi TSS dan VSS selama waktu diges. Prosentase penurunan terbesar adalah 27,55% dan dapat dicapai setelah 10 dan 50 hari. Namun bila diperhatikan besarnya perubahan

konsentrasi TSS, maka SRT 50 hari memberikan hasil yang lebih baik.

Tabel 6. Hasil Penentuan TSS dan VSS Selama Proses Diges

SRT (hari)	TSS (mg/l)	VSS (mg/l)
0	27.200	19.600
10	26.800	14.200
20	22.000	17.600
30	36.000	32.600
40	26.200	18.800
50	23.400	14.200

Perubahan drastis parameter rasio C/N terjadi pada SRT 30 hari. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah sebagai berikut:

- Mikroorganisme tumbuh dan berkembang biak menggunakan carbon untuk menyusun bahan-bahan seluler sel-sel mikroba, yaitu dengan membebaskan karbondioksida (CO₂), dan bahan-bahan lain yang mudah menguap (bersifat volatil).
- CO₂ digunakan oleh bakteri nitrifikasi untuk pemenuhan nutrisinya, yaitu oleh nitrobacter dan nitrosomonas, karena sifatnya kemoautotrof dengan memanfaatkan CO₂ untuk pertumbuhan.
- Nitrogen (N) organik meningkat karena senyawa kompleks organik diuraikan menjadi asam-asam organik sederhana dilanjutkan penguraian bahan organik yang mengandung nitrogen. Sedangkan ammonia yang terbebaskan dari penguraian ini segera mengalami nitrifikasi.

Besarnya konsentrasi carbon dan nitrogen serta rasio C/N selama proses diges ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Penentuan Carbon, Nitrogen dan C/N Selama Proses Diges

SRT	Carbon (mg/l)	Nitrogen (mg/l)	C/N
0	10.889	1.078	10,10:1
10	7.889	446	17,69:1
20	9.778	586	16,69:1
30	18.111	188	96,34:1
40	10.445	914	11,43:1
50	7.889	1.289	6,12:1

Parameter bakteri coli merupakan parameter yang perlu mendapatkan perhatian apabila hendak

mengaplikasikan lumpur ke tanah. Proses diges menyebabkan menurunnya konsentrasi bakteri coliform.

Tabel 8 menunjukkan besarnya konsentrasi bakteri coliform selama proses diges. Menurut EPA (1994) bila lumpur hendak diaplikasikan ke tanah, maka konsentrasi bakteri coliform yang diijinkan adalah sebesar ≤ 1000 MPN/gr untuk kelas A, dan $\leq 2 \cdot 10^6$ MPN/gr untuk kelas B. Maksimum penyisihan bakteri coli didapatkan dengan proses selama 20 hari yakni $3,3 \cdot 10^6$ MPN/100ml. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur dari proses diges belum dapat diaplikasikan ke tanah.

Tabel 8. Nilai bakteri coli selama diges

SRT (hari)	Bakteri Coli (MPN/100ml)
0	1,6E+09
10	9,0E+07
20	3,3E+06
30	5,0E+08
40	7,0E+07
50	5,0E+07

Nilai DO (sebagai kontrol) selama proses diges cenderung fluktuatif dan di atas 2 mg/l.

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa reduksi kandungan organik (VSS) terbesar didapatkan pada SRT 50 hari yakni 27,55%. Dan pada SRT 50 hari tidak diperoleh prosentase penyisihan terbesar untuk parameter bakteri coli. Namun penyisihan tersebut telah tercapai pada SRT 20 hari, yakni 99,79%. Meskipun demikian lumpur masih belum bisa diaplikasikan ke tanah. Selain itu pada SRT 50 hari nilai C/N lumpur tinja yang dapat dicapai adalah 6,12:1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Program DIK-S Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Benefield, L.D., and Randall, C.W. (1980). **Biological Process Design for Wastewater Treatment**, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, London.
- Bernard, S., and Gray, N.F. (2000). **Aerobic Digestion of Pharmaceutical and Domestic Wastewater Sludge at Ambient Temperature**. Water Research vol.34 No: 3, p. 725-734, Elsevier Science Ltd.
- Edelman, W., Engeli, H., and Gradnecker, M., (2000). **Co-Digestion of Organic Solid Waste and Sludge from Sewage Treatment**, Water Science and Technology Vol.41 No:3, p.213-221, IWA Publishing.
- Kim, B.J. and Smith, E.D. (1997). **Evaluation of Sludge Dewatering Reed Beds: A Niche for Small System**. Water Science Technology Vol. 35 No:6, p.21-28, Elsevier Science Ltd.
- Metcalf and Eddy (2003). **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**, fourth ed., McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New York.
- Pagilla, K.R., Kim, H., Cheunbarn, T. (2000) **Aerobic Thermophilic and Anaerobic Mesophilic Treatment of Swine Waste**, Water Resources vol. 34 No:10, p.2747-2753, Elsevier Science Ltd.
- Polprasert, C. (1989). **Organic Waste Recycling Environmental Engineering**. Division Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Reynold, T.D., and Richard, P.A. (1996). **Unit Operations and Process in Environmental Engineering**. second ed., PWS Publishing Company, Boston.
- U.S. Environmental Protection Agency (1994). **Guide to Septage Treatment and Disposal**, EPA/625/R-94/002, September 1994, Cincinnati, Ohio.