

KINERJA *DIGESTER* AEROBIK DAN PENERING LUMPUR DALAM MENGOLAH LUMPUR TINJA

PERFORMANCE OF AEROBIC *DIGESTER* AND SLUDGE DRYER FOR SEPTAGE TREATMENT

Ipung Fitri Purwanti¹⁾, Gogh Yoedihanto¹⁾ dan Ali Masduqi¹⁾
¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS

Abstrak

Penelitian menggunakan reaktor *digester* aerobik dengan sistem *batch* dan pengering lumpur dengan media pasir. Variabel yang digunakan adalah waktu aerasi, sistem suplai oksigen dan waktu pengeringan. Parameter yang diteliti adalah waktu aerasi optimum, koefisien laju reaksi pengolahan lumpur tinja, waktu pengeringan, kandungan *solid*, kadar air, C/N, dan bakteri coli. Dengan waktu aerasi optimum 12 hari, mikroorganisme tumbuh dengan laju pertumbuhan spesifik (μ) lumpur tinja 0,1952/hari. Laju penurunan (kd) 0,5341/hari. Sistem suplai udara konstan dengan debit 5,5 liter/menit lebih baik daripada suplai udara fluktuasi karena memberikan kandungan C/N sebesar 21:1 yang sesuai dengan standar kompos matang. Waktu pengeringan 14 hari dengan kadar kelembaban 70 % setelah proses *digest* lebih baik dibandingkan 7 hari, ditandai dengan kandungan C/N yang lebih dari 30:1 dan kadar air mendekati 30%.

Kata kunci: *digester* aerobik, lumpur tinja, pengering lumpur, waktu aerasi

Abstract

The research used aerobic digester reactor in batch system and sludge dryer used sand as media. Variable used were aeration time, oxygen supply system and time of drying. The observed parameter were optimum aerator time, reaction rate coefficient, drying time, and solid content, water content, C/N ratio, and coliform bacteria. The optimum aeration time is 12 days. During the aeration time, microorganism grow at specific growth rate (μ) 0,1952/day and the decay rate (kd) 0,5341/day. The air supplay with constant system at 5,5 L/min is better than fluctuation system, because gives C/N content 21:1, that suitable for mature compost standard. The time of drying of digested sludge 14 days at 70% moisture is better than 7 days, with C/N content more than 30:1 and water content close 30 %.

Keywords : aerobic degester, septage, sludge dryer, aeration time

1. PENDAHULUAN

Lumpur tinja (*septage*) adalah material berupa padatan dan cairan yang merupakan hasil pemompaan dari tangki septik. Material yang terkandung dalam lumpur tinja berupa padatan zat-zat organik, lemak/minyak, pasir (*grit*) berpotensi sebagai tempat tumbuh berbagai virus penyebab penyakit, bakteri dan parasit. Kandungan zat organik dalam lumpur tinja yang masih tinggi menyebabkan perlunya pengolahan (*treatment*) terhadap lumpur tinja. Bila lumpur ini langsung diaplikasikan ke tanah, akan berbahaya baik bagi tanah, tumbuhan, hewan maupun manusia sendiri.

Untuk mengetahui kemampuan *digester* aerobik dalam menurunkan kandungan zat organik dan polutan dalam lumpur, dicoba penerapannya pada

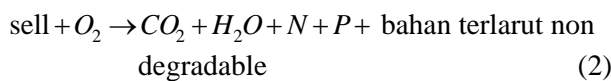
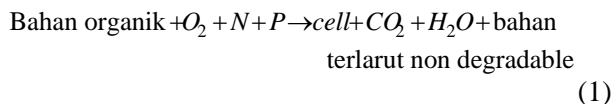
pengolahan lumpur tinja yang diambil langsung dari mobil tangki pengangkut tinja.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kinerja *digester* aerobik sistem *batch* dan pengering lumpur dalam mengolah lumpur tinja agar dapat mengurangi kandungan bahan organik dan polutan (bakteri *coli*) yang masih terkandung di dalamnya sehingga dapat diaplikasikan ke tanah.

Tangki septik merupakan *passive low rate anaerobic digester*. Proses biokimia dengan melibatkan organisme fakultatif dan anaerobik. Pemisahan dan proses *digest* yang baik pada tangki septik diharapkan dapat menurunkan kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) 80 - 90%. Kandungan TSS pada influen yang masuk tangki septik meliputi kandungan organik (*volatile solid*) sekitar 40 - 70%

TSS, sedangkan kandungan inorganik (*fixed solid*) 30 – 60%. Selain itu proses yang terjadi pada tangki septik mampu menurunkan kandungan BOD 60 - 70%.

Eckenfelder (2000) menyebutkan bahwa reaksi yang terjadi dalam sistem pengolahan aerobik adalah seperti pada Persamaan 1 dan Persamaan 2 berikut:



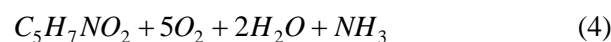
Pada fase pertumbuhan mikroorganisme dalam reaktor *batch* sesuai dengan Persamaan 3 berikut (Metcalf dan Eddy, 1991):

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (3)$$

dimana :

X = konsentrasi mikroorganisme, mass/unit volume
 μ = laju pertumbuhan spesifik, waktu⁻¹

Besarnya oksigen yang digunakan untuk keperluan pemeliharaan sel (respirasi *endogenous*) dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 1 dan 2. Bila diasumsikan komposisi zat organik adalah $C_5H_7NO_2$, maka besarnya oksigen yang diperlukan dihitung dengan pendekatan Persamaan 4 dan 5.



$$\frac{5CO_2}{C_5H_7NO_2} = \frac{160}{113} = 1,42 \quad (5)$$

Tujuan dari proses *digest* aerobik ini adalah untuk menghasilkan produk yang stabil secara biologi 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).

Tidak seperti proses *digest* anaerobik, pada proses aerobik tidak didapatkan kembali energi dan proses cenderung lebih mahal karena membutuhkan energi untuk mengaerasi lumpur secara kontinyu.

Oksidasi bahan organik pada kondisi *batch* atau *plug flow* mengikuti laju reaksi orde satu seperti pada Persamaan 6.

$$\frac{(X_d)_e}{(X_d)_o} = e^{-k_d \cdot t} \quad (6)$$

dimana :

$(X_d)_e$ = konsentrasi VSS *degradable* setelah waktu t, mg/l

$(X_d)_o$ = konsentrasi VSS *degradable* awal, mg/l

k_d = koefisien laju reaksi, /hari

t = waktu aerasi, hari

Menurut Eckenfelder (2000) waktu aerasi untuk menurunkan kandungan VSS bila digunakan reaktor *batch* adalah selama 16 – 18 hari.

Temperatur mempengaruhi proses *digester* aerobik dengan mengubah laju respirasi *endogenous*. Bila koefisien laju respirasi *endogenous* dinyatakan dengan k_d , maka besarnya nilai k_d pada temperatur yang berbeda dapat dinyatakan dalam Persamaan 7.

$$(K_d)^T = (K_d)20^0 C \theta^{T-20} \quad (7)$$

dimana : θ = koefisien temperatur, dengan rentang nilai 1,02 – 1,11 (nilai 1,023 sering digunakan)

Lapisan bak pengering lumpur terdiri dari lapisan pasir setebal 200 – 300 mm dan lapisan penyangga berupa kerikil setebal 200 – 400 mm yang juga sebagai pelindung pipa *underdrains*. Pasir yang digunakan sebaiknya mempunyai ukuran efektif antara 0,3 – 0,75 mm dan koefisien keseragaman kurang dari 3,5. Ukuran kerikil yang digunakan biasanya 2,5 – 25 mm (Tchobanoglous dkk, 1993). Kadar air pada lumpur yang didapatkan setelah 10 hingga 15 hari pengeringan adalah 60 - 70%.

Aplikasi ke tanah dimaksudkan sebagai pupuk dan *soil conditioner*. Banyaknya lumpur yang dapat diaplikasikan tergantung pada besarnya kemiringan tanah, tipe/ jenis tanah, kedalaman aplikasi dan beban hidrolis (*hydraulic loading*). Aplikasi ke tanah sebaiknya tidak dilakukan sesaat sebelum atau pada saat turun hujan. Lahan yang ideal untuk aplikasi lumpur ke tanah adalah yang mempunyai kedalaman tanah lempung sampai tanah berpasir; kedalaman air tanah lebih dari 3 m; kemiringan tanah

antara 0 – 3%, tidak terdapat sumur, sungai dan *wetland* didekatnya; serta tidak ada pemukiman.

2. METODOLOGI

Penelitian pendahuluan untuk mengetahui karakteristik awal lumpur. Parameter yang diukur adalah kadar air, kandungan *solid*, rasio C/N dan bakteri *coli*, yang dilakukan setiap hari.

Tahap pertama untuk mendapatkan waktu aerasi optimum pada suplai oksigen dan volume lumpur konstan. Suplai oksigen yang digunakan 20 – 40 mg O₂ / jam.gr VSS, sedangkan volume lumpur 2 liter. Pengamatan dilakukan dua kali pengambilan, yakni lumpur tinja pada bagian permukaan reaktor dan di bagian dasar reaktor. Parameter yang diukur pada tahap ini adalah konsentrasi TSS dan VSS.

Pada tahap kedua ini penelitian dilakukan pada jangka waktu aerasi optimum hasil tahap pertama dan diperlakukan dua variasi suplai oksigen, yakni suplai oksigen yang sama per harinya dan berfluktuasi (membentuk kurva V terbalik) per harinya selama waktu aerasi optimum. Parameter yang diukur adalah kadar air, kandungan *solid*, rasio C/N dan bakteri *coli*.

Tahap ketiga, percobaan pada bak pengering lumpur. Setelah lumpur distabilisasi dengan *digester* aerobik selama jangka waktu aerasi optimum dan dengan sistem suplai oksigen yang bervariasi, lumpur diambil dari *digester* dan dihamparkan pada bak pengering lumpur. Bak pengering lumpur yang digunakan mempunyai ketebalan media kerikil 20 cm dan media pasir 20 cm, kerikil terletak di dasar bak dan pasir di atasnya, ukuran bak 20 cm x 20 cm. Variasi yang diperlakukan pada bak pengering lumpur adalah waktu pengeringan yakni 0 hari, 7 hari dan 14 hari dengan dua kali pengambilan sampel. Parameter yang diukur adalah kadar air, kandungan *solid*, rasio C/N dan bakteri *coli*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa pendahuluan dilakukan setiap hari dalam satu minggu dengan sampel yang diambil langsung dari mobil tangki. Karakteristik fisik yang langsung bisa diketahui adalah adanya bau yang disebabkan oleh pengolahan sebelumnya, yaitu pengolahan anaerobik (tangki septik). Tabel 1 menunjukkan hasil pengamatan karakteristik awal lumpur tinja.

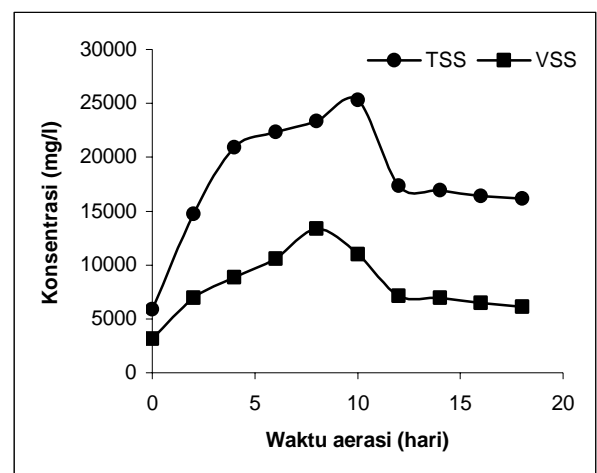
Tabel 1. Karakteristik Awal Lumpur Tinja

Parameter	Pengambilan Sampel					
	1	2	3	4	5	6
TSS (mg/l)	27900	104380	35240	38380	53280	44860
VSS (mg/l)	24020	87580	22040	15660	42980	36560
C:N						
- C (mg/l)	13344	48656	12244	8700	23877	20311
- N (mg/l)	1209	485,6	485,6	291,2	485,6	644,2
- C:N	11:1	100:1	25:1	30:1	49:1	32:1
Kadar Air (%)	96,44	95,94	95,45	92,32	93,83	94,63
Bakt. <i>Coli</i> (MPN/100 ml)	2	5	2,4	3	7	5
	E+08	E+07	E+08	E+08	E+07	E+07

Besarnya suplai udara yang diberikan secara konstan pada seluruh reaktor adalah 5,5 liter/menit. Tabel 2 menunjukkan konsentrasi rata-rata TSS dan VSS. Gambar 1 menampilkan grafik hasil pengamatan. Waktu aerasi optimum yang diperoleh adalah 12 hari.

Tabel 2. Kandungan Rata-Rata TSS dan VSS

Waktu aerasi (hari)	Kandungan <i>Solid</i> Rata-Rata (mg/l)	
	TSS	VSS
0	5.853	3.168
2	14.750	6.930
4	20.930	8.870
6	22.340	10.580
8	23.360	13.370
10	25.310	11.000
12	17.330	7.140
14	16.960	6.980
16	16.385	6.480
18	16.160	6.135



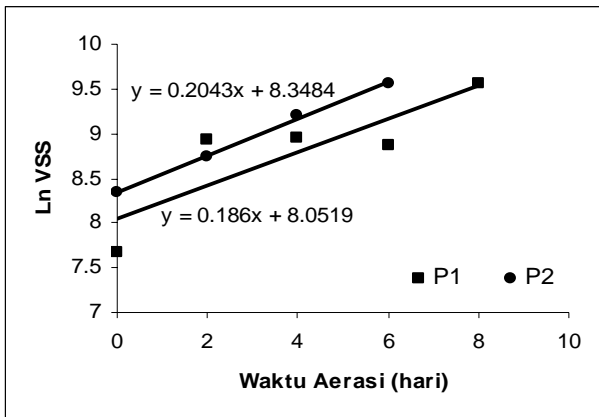
Gambar 1. Profil Perubahan TSS dan VSS Selama Waktu Aerasi

Konsentrasi TSS maupun VSS meningkat pada hari pertama hingga 8 – 10 hari dan setelah itu menurun untuk kemudian konstan. Pertumbuhan dimungkinkan terjadi karena kualitas lumpur yang terpompa oleh mobil tangki tidak seragam. Artinya tidak semua mikroorganisme dalam kondisi *endogenous*, namun ada sebagian yang masih berada

dalam fase pertumbuhan (eksponensial). Besar pertumbuhan sel dapat ditentukan dari konsentrasi VSS dengan Persamaan 3 yang diubah dalam bentuk persamaan linier, seperti pada Persamaan 8.

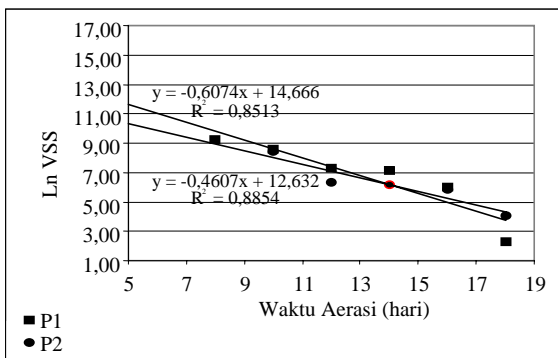
$$\ln X_t = \ln X_o + \mu t \tag{8}$$

Dari Gambar 2 diperoleh μ_1 adalah 0,1861/hari dan nilai μ_2 adalah 0,2043/hari. Nilai μ pada lumpur tinja didapatkan 0,1952/hari.



Gambar 2. Penentuan Nilai μ

Gambar 3 menunjukkan besar koefisien laju penurunan mikroorganisme (k_d) dapat ditentukan dari persamaan 6. Nilai k_d untuk VSS pada percobaan 1 adalah 0,6074/hari sedangkan nilai k_d untuk VSS pada percobaan 2 adalah 0,4607/hari Sehingga dapat dikatakan bahwa rata-rata laju penurunan mikroorganisme dalam lumpur tinja adalah 0,5341/hari.



Gambar 3. Penentuan Koefisien Laju Penurunan

Karakteristik awal lumpur tinja tahap kedua berbeda dengan tahap sebelumnya. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Karakteristik Awal Lumpur Tinja pada Tahap Kedua

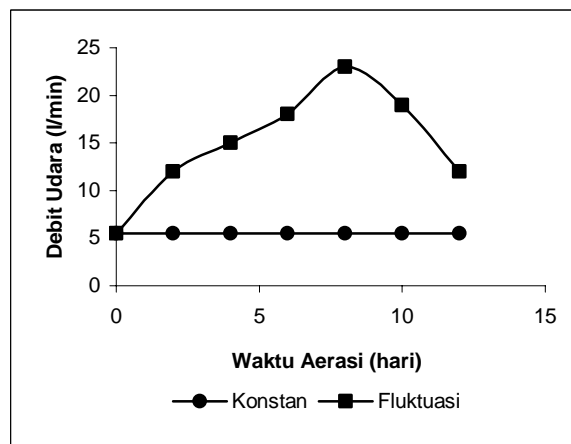
Parameter	Reaktor ke-					
	10hr A	10hr B	11hr A	11hr B	12hr A	12hr B
TSS (mg/l)	12020	18480	11660	11820	12320	12150
VSS (mg/l)	9020	9110	8970	8900	9060	9030
C:N						
- C (mg/l)	5011,1	5061	4983	4944	5033	5017
- N (mg/l)	589,93	616,87	563	576	550	511
- C:N	8,49:1	8,2:1	8,85:1	8,58:1	9,15:1	9,81:1
Kadar Air (%)	98.31	98.73	97.26	95.48	98.43	97.83
Bakteri <i>Coli</i> (MPN/100 ml)	3 E+10	3 E+10	2,9 E+10	2,7 E+10	2,5 E+10	2,6 E+10

Keterangan: A = reaktor dengan suplai udara konstan
B = reaktor dengan suplai udara fluktuasi

Sedangkan fluktuasi debit udara pada variasi konstan besarnya sama dengan tahap sebelumnya yakni 5,5 liter/menit pada Tabel 4 sedangkan Gambar 4 memperlihatkan grafik fluktuasi tersebut.

Tabel 4. Fluktuasi Debit Udara

Waktu aerasi (hari)	Debit Udara (liter/menit)	
	Konstan	Fluktuasi
0	5,5	5,5
2	5,5	12
4	5,5	15
6	5,5	18
8	5,5	23
10	5,5	19
12	5,5	12



Gambar 4. Fluktuasi Debit Udara Tahap Kedua

Kandungan TSS lumpur tinja yang diaerasi selama 10 hari meningkat 110,9%. Berbeda dengan reaktor dengan waktu aerasi lumpur tinja selama 11 dan 12 hari, kandungan TSS menurun dibandingkan konsentrasi awalnya. Besarnya penurunan adalah 60,59% pada 11 hari dan 73,78% pada 12 hari.

Setelah 10 hari aerasi, terjadi peningkatan kandungan VSS 63,53%. Lumpur tinja setelah diaerasi 11 hari, menurun VSS 73,02%, pada reaktor dengan waktu aerasi 12 hari menurun kandungan VSS 82,67%.

Suplai udara selama waktu aerasi optimum adalah 79.200 liter hingga 95.040 liter. Massa VSS yang dapat diuraikan selama waktu aerasi optimum tersebut adalah 0,0131 hingga 0,015 kg. Sehingga kebutuhan udara berdasarkan massa VSS yang dapat diuraikan selama waktu aerasi adalah 5.287 hingga 6.045 m³ udara/kg VSS yang terurai.

Nilai VSS:TSS akhir setelah diaerasi selama 10 hari menurun 22,46%. Selama aerasi 11 hari nilai VSS:TSS menurun 31,54%. Reaktor dengan aerasi selama 12 hari mampu menurunkan VSS dan TSS 33,90%. Kandungan karbon setelah 10 hari diaerasi meningkat 63,53%. Lumpur tinja yang diaerasi selama 11 hari menurun kandungan karbon 73,02% dan 82,67% untuk aerasi selama 12 hari.

Sistem suplai udara konstan memberikan penurunan kandungan nitrogen 24,25% hingga 36,42% dan memberikan perubahan rasio C/N yang berfluktuasi seiring bertambahnya waktu aerasi. Selama 10 hari aerasi, rasio C/N meningkat sedangkan pada waktu aerasi 11 dan 12 hari menurunkan rasio C/N. Dalam rangka aplikasi ke tanah, maka yang perlu mendapatkan perhatian adalah hasil akhir rasio C/N apakah telah sesuai dengan standar kompos matang. Lumpur tinja yang mengalami proses *digest* 10 hari dengan suplai udara konstan menghasilkan rasio C/N 21 : 1. Dengan demikian lumpur tinja tersebut dapat diaplikasikan ke tanah. Kandungan air dalam lumpur tinja yang telah diaerasi dengan suplai udara konstan menurun 3,09% setelah 10 hari aerasi. Sebaliknya lumpur tinja yang diaerasi selama 11 hari dan 12 hari meningkat dari konsentrasi awalnya. Besarnya peningkatan tersebut adalah 1,72% dan 0,46%.

Standar dari EPA (1994) kelas A mempunyai kandungan bakteri *coli* ≤ 1.000 MPN/ gr berat kering dan kelas B kandungan bakteri *coli* $\leq 2.10^6$ MPN/ gr berat kering. Hasil proses *digest* dengan suplai udara konstan belum memenuhi standar tersebut. Hasil proses *digest* tersebut mempunyai kandungan bakteri *coli* antara 2.10^8 MPN/ 100 ml hingga 1.10^9 MPN/100 ml untuk proses *digest* dengan suplai udara konstan.

Pengolahan lumpur tinja dengan suplai udara berfluktuasi kandungan TSS-nya menurun 72,64% setelah diaerasi selama 10 hari, 50,13% setelah diaerasi selama 11 hari dan 43,09% setelah diaerasi selama 12 hari. Sistem suplai udara fluktuasi selama 10 hari menurunkan prosentase kandungan VSS 66%. Selama 11 hari penurunan dapat mencapai 60% dan selama 12 hari penurunan mencapai 43%. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Karakteristik Lumpur Tinja setelah Aerasi

Parameter	Konsentrasi					
	Awal		Setelah diaerasi			
		10hr	11hr	12hr		
Suplai Udara Konstan						
C:N	8,49:1	8,85:1	9,15:1	21:1	4:1	2:1
Kadar Air (%)	98,31	97,26	98,43	95,27	98,94	98,88
Bakteri <i>Coli</i> (MPN/100ml)	3 E+10	2,9 E+10	2,5 E+10	2,3 E+08	2,2 E+08	1,1 E+09
Suplai Udara Fluktuasi						
C:N	8,20:1	8,58:1	9,81:4	4:1	8,55:1	7:1
Kadar Air (%)	98,73	95,48	97,83	97,03	98,52	99,23
Bakteri <i>Coli</i> (MPN/100ml)	3,1 E+10	2,7 E+10	2,7 E+10	2,7 E+10	1,3 E+08	2,2 E+10

Udara aerasi optimum adalah 207.360 liter hingga 273.600 liter. Sedangkan massa VSS yang dapat diuraikan selama waktu aerasi optimum adalah 0,0078 kg hingga 0,012 kg. Sehingga kebutuhan udara berdasarkan massa VSS yang dapat diuraikan selama waktu aerasi adalah 12.906 hingga 33.969 m³ udara/kg VSS yang terurai. Pengolahan lumpur tinja dengan suplai udara berfluktuasi selama 10 hari meningkatkan nilai perbandingan VSS dan TSS 23,76%. Sedangkan aerasi selama 11 dan 12 hari menghasilkan penurunan rasio VSS dan TSS 0,18% hingga 18,90%.

Setelah diaerasi selama 10 hari kandungan karbon mengalami penurunan 66,14%. Sedangkan aerasi selama 11 hingga 12 hari memberikan penurunan berkisar antara 43,19% hingga 59,55%.

Suplai udara fluktuasi menurunkan kandungan nitrogen yang lebih besar daripada suplai udara konstan, yaitu 18,49% hingga 59,42%. Kadar air menurun 1,73%. Hasil yang didapatkan tidak memenuhi syarat untuk kompos. Kandungan bakteri sebesar 1.10^8 MPN/ 100 ml - 2.10^{10} MPN/100 ml. Dari uraian di atas dapat dilihat bahwa variasi sistem suplai udara memberikan hasil yang bervariasi.

Pada tahap ketiga lumpur tinja yang telah diaerasi dengan suplai udara konstan maupun fluktuasi, dikeringkan dalam bak pengering lumpur. Lumpur tinja yang dikeringkan hanya lumpur tinja dengan waktu aerasi 12 hari yang merupakan waktu aerasi yang paling optimum (sesuai tahap pertama). Karakteristik pada waktu pengeringan 0 hari, dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik Awal Lumpur Tinja Tahap Ketiga

Parameter	Bak Pengering	
	Udara Konstan	Udara Fluktuasi
TSS (% berat kering)	0,41	1,37
VSS (% berat kering)		
Rasio C:N	60,48	57,88
- C (% berat kering)	33,6	32,16
- N (% berat kering)	6,8	5,7:1
- C:N		
Kadar Air (%)	4,94:1	98,63
Bakteri <i>Coli</i> (koloni/gr sampel)	5,8E+10	4,8E+09

Martin (1991) mengatakan bahwa pengeringan dengan lapisan pasir dapat mencapai kandungan *solid* 85% hingga 90%. Pada penelitian ini, kandungan *solid* dapat mencapai 44,98% hingga 61,18% pada lumpur kering dari lumpur dengan suplai udara konstan dan 78,35% hingga 97,29% pada lumpur kering dari lumpur dengan suplai udara fluktuasi. Pada penelitian ini, waktu pengeringan 7 hari telah memberikan prosentase penurunan kandungan VS lebih dari 70%.

Tabel 7. Karakteristik Lumpur Tinja setelah Dikeringkan

Parameter	Konsentrasi		
	Awal	Setelah Dikeringkan	
		7 hr	14 hr
Suplai Udara Konstan			
Nitrogen (%)	6,8	1,61	0,71
C:N	4,94:1	5,39:1	12,73:1
Kadar Air (%)	99,6	55,03	38,82
Bakteri <i>Coli</i> (koloni/gr sampel)	5,8E+10	1,3E+10	3E+06
Suplai Udara Fluktuasi			
Nitrogen (%)	5,64	2,16	0,51
C:N	5,7:1	10,76:1	36,48:1
Kadar Air (%)	98,63	21,66	2,71
Bakteri <i>Coli</i> (koloni/gr sampel)	4,8E+09	4,7E+06	2,8E+06

4. KESIMPULAN

Waktu aerasi optimum lumpur tinja dapat dicapai setelah 12 hari. Besarnya laju pertumbuhan spesifik (μ) bakteri pada pengolahan lumpur tinja adalah 0,1952/hari. Koefisien laju penurunan (kd) bakteri pada proses *digest* aerobik dalam mengolah lumpur tinja adalah 0,5341/hari. Sistem suplai udara konstan dengan debit 5,5 liter/menit memberikan hasil yang lebih baik daripada sistem suplai udara fluktuasi. Terutama pada kandungan C/N yaitu 21 : 1. Waktu pengeringan optimum bagi lumpur tinja yang telah diaerasi adalah 14 hari dengan kadar kelembaban sekitar 70%. Kandungan bakteri *coli* yang masih tinggi menyebabkan lumpur belum bisa diaplikasikan ke tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Eckenfelder, W.W. (2000). **Industrial Water Pollution Control**. 3th Edition. McGraw-Hill International Editions. Singapore.
- Martin, J.E. dan Martin, J.T. (1991) **Technologies for Small Water and Wastewater System**. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Metcalf dan Eddy. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. McGraw-Hill Book and Co. Singapore.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. dan Vigil, S.A. (1993). **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill, Inc. Singapore.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1994). **Guide to Septage Treatment and Disposal**. EPA/625/R-94/002. Cincinnati. Ohio.