

## PENGARUH KADAR AIR PADA PENGOLAHAN LUMPUR TINJA TANGKI SEPTIK BERBASIS *TERRA PRETA SANITATION*

### *EFFECT OF MIXING WATER RATIO IN SLUDGE OF SEPTIC TANK TREATMENT BASED ON TERRA PRETA SANITATION*

<sup>1\*</sup> Lulu Destiana Purwita, dan <sup>2</sup> Prayatni Soewondo

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

\*<sup>1</sup>lulu.destiana@yahoo.com ,dan <sup>2</sup>prayatnisoe@yahoo.com

**Abstrak:** Ekskreta manusia (feces dan urin) berkontribusi kecil dalam volume tetapi merupakan penyebab utama dari pencemaran air. Pendekatan sanitasi berbasis ekologi (ecological sanitation) mempertimbangkan limbah (kotoran) manusia sebagai sumber daya dibandingkan dengan limbah. Salah satu konsep ecological sanitation yang sedang dikembangkan adalah Terra Preta Sanitation (TPS). Terra Preta Sanitation merupakan suatu konsep sanitasi dengan tujuan akhir untuk meningkatkan kesuburan tanah, tetapi mampu mengatasi masalah bau yang tidak enak dengan adanya proses laktofermentasi dan vermikompos. Saat ini, konsep Terra Preta diadopsi dan dikembangkan menjadi konsep alternatif pengolahan limbah cair dan limbah padat domestik/rumah tangga. Tujuan utama dari penelitian ini adalah optimisasi proses laktofermentasi pada pengolahan lumpur tinja tangki septik. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan lumpur tinja yang berasal dari 3 tangki septik dengan variasi kadar air untuk mengetahui pengaruh kadar air pada proses laktofermentasi. Variasi kadar air dilakukan dengan pengurangan 10% air sampel dan penambahan 0%, 10% dan 20% air pencampur. Reaktor yang digunakan merupakan reaktor batch anaerob dengan kapasitas 2,5 liter. Bakteri yang digunakan berasal dari bakteri kultur campuran jenis EM<sub>4</sub> (Effective Microorganism 4) sebanyak 20% dari volume efektif reaktor, sedangkan untuk co-substrat digunakan larutan glukosa dan air keran sebagai air pencampur. Penelitian ini dilakukan selama 21 hari pada suhu ruang. Parameter yang dianalisa seperti pH, kadar air, kadar volatile, Total Organic Carbon (TOC), Total Kjedahl Nitrogen (TKN), Total phosphate, Total Asam Volatile (TAV), amonium, dan H<sub>2</sub>S. Karakteristik awal sampel tinja memiliki nilai organik tinggi dengan angka TOC sekitar 25000 mg/L. Pada akhir pengolahan, hasil menunjukkan sampel dengan pengurangan 10% air sampel memberikan degradasi organik yang lebih baik, konsentrasi H<sub>2</sub>S dan produksi asam laktat lebih besar. Efisiensi penyisihan karbon organik sekitar 50%, penyisihan NTK sekitar 60%, penyisihan posphat total sekitar 70% dan penyisihan indikator bau yaitu H<sub>2</sub>S mencapai 90%. Pembentukan asam laktat pada akhir reaksi mencapai 3,9%.

**Kata kunci:** terra preta sanitation, laktofermentasi, Effective Microorganism 4, tangki septik

**Abstract :** Human excrement (faeces and urine) have small in volume of domestic wastewater but it is the main causes of water pollution. Ecological sanitation considers human wastes as resources rather than waste. A new emerging concept in ecological sanitation is Terra Preta Sanitation (TPS). Terra Preta Sanitation is sanitation concept with final purpose for improve soil fertility, but able to overcome odor problem with lactic acid fermentation and vermicomposting process. Today, TPS concept is adopted and developed to be alternative concept for domestic waste treatment. The main objective of this research is optimizing lactic acid fermentation process in sludge of septic tank treatment. This research conducted with black water treatment from three septic tanks with variation of water content. Water content variations are with 10% sample water reduction, 0%, 10%, and 20% mixing water addition Reactor that used is anaerobic reactor with 2.5 liter capacity. Effective Microorganism 4 (EM<sub>4</sub>) is used as source of lactic acid bacteria for treat sludge from septic tank. Glucose is used as co-substrate and tap water as mixing water. The study was conducted in 21 days at room temperature. pH, water content, volatile content, Total Organic Carbon (TOC), Total Kjedahl Nitrogen (TKN), Total phosphate, Total Volatile Acid (TVA), ammonium, and H<sub>2</sub>S

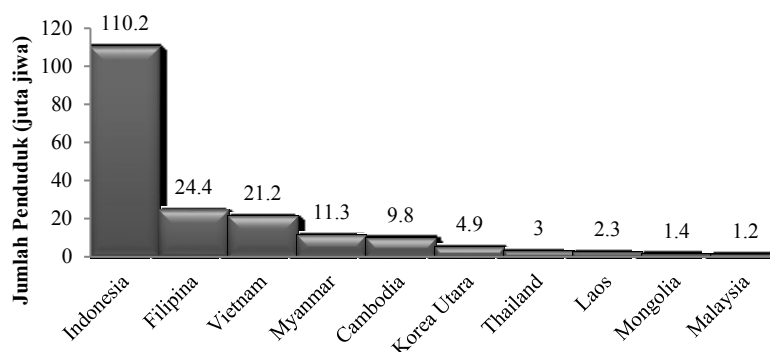
are analyzed. Characteristic of sample have organic content approximately 25000 mg/L. In the end of treatment, the result show, that the sample with 10% sample water reduction had better degradation, lower H<sub>2</sub>S and greater lactic acid production. Organic carbon removal efficiency about 50%, TKN removal efficiency about 60%, total phosphate efficiency about 70%, and H<sub>2</sub>S removal efficiency about 90%. Production of lactic acid in the end of reaction time about 3.9%

**Key words:** terra preta sanitation, lactic acid fermentation, Effective Microorganism 4, septic tank

## PENDAHULUAN

Populasi masyarakat Indonesia pada tahun 2010 telah mencapai 237,5 juta (BPS, 2011). Dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang sangat tinggi tersebut, diperlukan sistem sanitasi yang memadai. Sedangkan kondisi pengelolaan air limbah domestik sampai akhir tahun 2012, hanya sekitar 2% dari seluruh penduduk yang terlayani dengan sistem pengelolaan terpusat dan sisanya menggunakan sistem setempat (on site), contohnya tangki septik. Bahkan di daerah pinggiran kota/desa masih banyak dijumpai tanpa pengelolaan sama sekali, misalnya dialirkan/dibuang ke sungai dan lahan kosong lainnya.

Dengan kondisi ini maka diperlukan suatu instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) untuk mengolah lumpur dari tangki septik. Kinerja pengolahan pada IPLT sekarang kurang efektif dikarenakan tidak kontinunya masukan lumpur tinja dan teknologi yang digunakan kurang tepat. Instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) yang terdapat di Indonesia sebagian besar menggunakan teknologi pengolahan dengan tangki Imhoff dan dilanjutkan dengan pengolahan kolam anaerobik, fakultatif, kolam maturasi dan pengering lumpur (Sudarno, 2006).



**Gambar 1.** Penduduk tanpa akses sanitasi (WHO/ UNICEF, 2012)

Buangan domestik mengandung materi organik, anorganik, bakteri patogen dan logam berat yang keberadaannya dapat menyebabkan pencemaran badan air pada konsentrasi tinggi. Di sisi lain, buangan domestik ini juga mengandung unsur nutrisi yang bermanfaat bagi kegiatan pertanian seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan potasium (K) yang terkandung di dalam urin dan tinja (Johnsson *et al.* dalam Malisie *et al.*, 2007). Yemaneh dan Otterpohl (2013) menyebutkan bahwa sesuai dengan konsep *ecological sanitation*, kotoran manusia (limbah domestik) dapat dianggap sebagai sumber daya dibandingkan dengan limbah, namun nutrisi ini akan sulit dimanfaatkan kembali jika buangan domestik masih mengalami pencampuran air dalam jumlah besar pada sistem *flushing*.

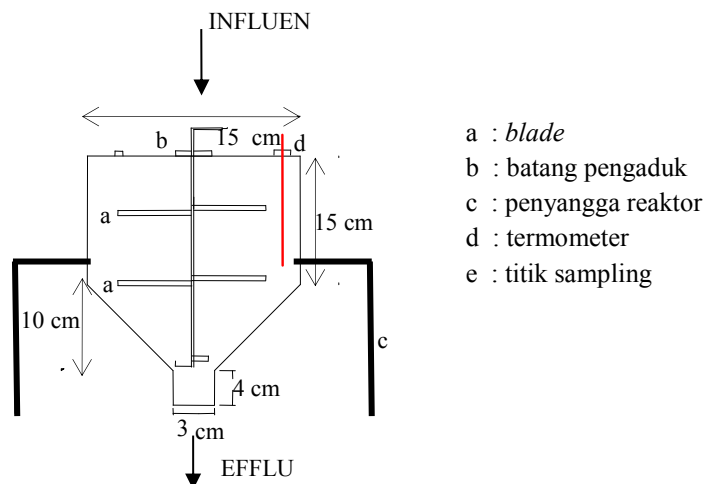
Sistem pengolahan *close cycle* yaitu sistem dimana nutrisi yang diambil dari tanah secara langsung dikembalikan ke tanah, mampu mencegah terjadinya defisiensi mikronutrien dan menjaga kesuburan tanah, akan tetapi teknologi pengolahan eksisting sekarang tidak dirancang sesuai dengan sistem *close cycle*. Nutrien tanah yang telah diambil dan dimanfaatkan akan diganti dengan penggunaan pupuk buatan. Dalam kurun waktu yang lama, hal ini akan mengakibatkan defisiensi nutrisi yang akan berdampak pada degradasi dan menurunnya tingkat kesuburan tanah

Salah satu bentuk pengembangan metode sanitasi adalah *Terra Preta Sanitation* (TPS). *Terra Preta* merupakan tanah kaya akan karbon dan nutrisi yang telah dihasilkan oleh penduduk suku Amazon ratusan tahun lalu dengan menggabungkan tinja, urin, arang, dan tulang di dalam tanah (Factura *et al.*, 2010). Saat ini, konsep TPS diadopsi dan dikembangkan menjadi konsep alternatif pengolahan limbah cair dan padat domestik/rumah tangga (Otterpohl, 2009). Tujuan akhir dari sistem TPS ini untuk meningkatkan kesuburan tanah, tetapi mampu mengatasi masalah bau yang tidak enak dengan adanya proses laktofermentasi dan vermikompos. Kelebihan proses laktofermentasi adalah pada proses laktofermentasi dilepaskan asam yang dapat menurunkan pH dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen (Abdel *et al.*, 2010, Ndaw *et al.*, 2008). Selain itu, bakteri asam laktat memiliki aktivitas antagonis terhadap berbagai jenis bakteri gram positif karena dihasilkannya senyawa bakteriocin, yaitu senyawa sejenis antibiotik yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Calleweart dan Vuyst, 2000).

## METODOLOGI

Proses yang dilakukan dalam penelitian ini diawali dengan proses pengambilan sampel lumpur tinja di tangki septik. Terdapat 3 (tiga) lokasi sampling tangki septik sehingga diharapkan sampel yang diambil menjadi lebih representatif.

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini sebanyak empat buah yang terbuat dari bahan *flexiglass*, masing-masing memiliki kapasitas volume 2,5 liter dengan diameter inlet 15 cm, diameter outlet 3 cm, dan tinggi 30 cm. Reaktor ini terdiri dari dua bagian yaitu bagian atas yang berbentuk silinder dan bagian bawah yang berbentuk kerucut. Titik sampling outlet berada di dasar bagian kerucut. Selain itu reaktor ini juga dilengkapi dengan batang pengaduk, sehingga pada saat sampling diharapkan lebih representatif. Gambar skematik dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Skematik reaktor batch anaerob

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tinja segar sebagai limbah yang akan diolah, air ledeng sebagai air pencampur, glukosa sebagai substrat untuk aktivitas sel bakteri, serta bakteri kultur campuran jenis *Effective Microorganism* (EM)<sub>4</sub> sebagai sumber bakteri yang digunakan. Selain itu juga digunakan berbagai reagen kimia untuk melakukan analisis parameter.

Untuk mengetahui kandungan nutrisi awal di dalam sampel yang akan digunakan, dilakukan pemeriksaan karakteristik awal terhadap sampel tinja. Parameter yang diukur antara lain adalah kadar air, kadar volatil, karbon organik, total nitrogen dan total fosfat. Parameter tersebut diukur untuk mengetahui karakteristik awal sampel tinja sehingga dapat diamati proses penyisihan senyawa organik pada sampel tinja tersebut. Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel sesaat (*grab sample*) dimana sampel diambil langsung pada saat tertentu

dari satu titik, yaitu pada titik outlet. Adapun parameter dan metode analisis yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Metode dan frekuensi analisis

Jenis Parameter	Metode Analisis	Frekuensi
Kadar Air	SNI 07-3119:1992	3 kali seminggu
Volatil Solid	SMEWW-5560	3 kali seminggu
pH	SNI 06-6989.11-2004	3 kali seminggu
Total Karbon Organik	SMEWW-2540-C	3 kali seminggu
Alkalinitas	SNI 06-2420 1991	3 kali seminggu
NH <sub>4</sub>	SNI 19-7117.6-2005	3 kali seminggu
Nitrogen Total	SMEWW-4500-N <sub>org</sub> -B	3 kali seminggu
Total Phospat	SMEWW-4500-P-B-D	3 kali seminggu
H <sub>2</sub> S	SNI 19-7117.7-2005	3 kali seminggu
Asam Volatil (asetat)	Metode Titrasi	3 kali seminggu
Asam Laktat	Metode Titrasi	Di akhir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Samplng dan Karakterisasi Awal

Pada pelaksanaan samplng, terdapat tiga lokasi samplng lumpur tinja. Hasil dari ketiga lokasi tersebut dicampur untuk mengkondisikan situasi di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) agar dapat merepresentasikan kondisi eksisting.



**Gambar 3.** Lokasi tangki septik dan struktur sampel lumpur tinja

Hasil karakteristik sampel tinja pada tiap lokasi dan hasil pencampuran dari ketiga lokasi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Karakteristik awal sampel tinja

Parameter	Satuan	Sampel dari lokasi			Pencampuran Sampel
		1	2	3	
pH		8,56	7,26	8,36	7,89
Kadar Air	%	82,6	59,8	67,0	69,8
VSS	%	69,1	25,3	16,9	23,4
TOC	mg/L	32500	22300	15500	30100
NTK	mg/L	27800	7000	13400	3900
Phosphat	mg/L	95,4	5,25	38,5	38,6

Jika dilihat dari karakteristik awal sampel segar, pada ketiga lokasi memiliki kecenderungan kualitas yang berfluktuatif. Untuk lokasi pertama, sampel lumpur tinja masih memiliki nutrisi yang cukup tinggi. Kandungan nutrisi yang tinggi ini dapat merusak kualitas lingkungan dengan

memicu terjadinya fenomena eutrofikasi. Selain itu, juga dapat membahayakan kesehatan masyarakat karena mengandung bakteri pathogen dalam jumlah banyak. Berbeda dengan lokasi pertama, lokasi kedua dan ketiga cenderung memiliki konsentrasi yang lebih rendah. Ini disebabkan pada lokasi tersebut merupakan tangki septik komunal, dimana lumpur tinja sudah mengalami degradasi karena berada di tangki septik dalam jangka waktu tahunan, selain itu sudah terjadi pengendapan sehingga cairan dan padatannya sudah terpisah.

Untuk pengembangan dan sintesis selnya, mikroorganismenya membutuhkan substrat nutrisi. Pada proses laktofermentasi, rasio C/N optimum adalah 60/40, nilai yang didapat tidak memenuhi kondisi optimum sehingga perlu ditambahkan substrat tambahan untuk memenuhi kondisi optimum tersebut.

Malisie *et al.* (2007) menyebutkan bahwa proses laktofermentasi dapat mencegah defisiensi nutrisi dengan *recovery* nutrisi yang terdapat di tinja dengan kandungan air tidak lebih dari 90%. Untuk mencapai kadar air optimum, Wang *et al.* (2002) melakukan penyesuaian kadar air dalam sampel sampah dapur dengan menambahkan air pencampur hingga tiga kali berat basah sampah. Air pencampur yang digunakan dalam percobaan tersebut adalah air keran. Pada percobaan laktofermentasi lain dengan sampel kotoran ternak unggas, dilakukan penambahan air pencampur dengan rasio 1:1 per berat basah sampel (El Jalil *et al.*, 2008). Dengan karakteristik awal di atas, sampel lumpur tinja tersebut cocok diolah dengan proses laktofermentasi.

Selain itu, dilakukan juga analisa parameter terhadap air keran PDAM yang digunakan sebagai air pencampur pada penelitian ini. Air keran yang digunakan berasal dari Laboratorium Penelitian Kualitas Air Teknik Lingkungan ITB. Karakteristik air keran PDAM yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Karakterisasi air keran sebagai air pencampur

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	7,14
COD	mg/l	7,247
NTK	mg/l	23,76
Total P	mg/l	0,59

Pada penelitian ini digunakan air keran sebagai air pencampur karena karakteristiknya relatif konstan sehingga dengan adanya penambahan air keran ini diharapkan tidak menimbulkan efek bias terhadap proses dekomposisi yang akan diamati. Selain itu, kualitas air yang digunakan pada sistem *flushing* di Indonesia mayoritas menggunakan air dengan kualitas air minum yang berasal dari PDAM.

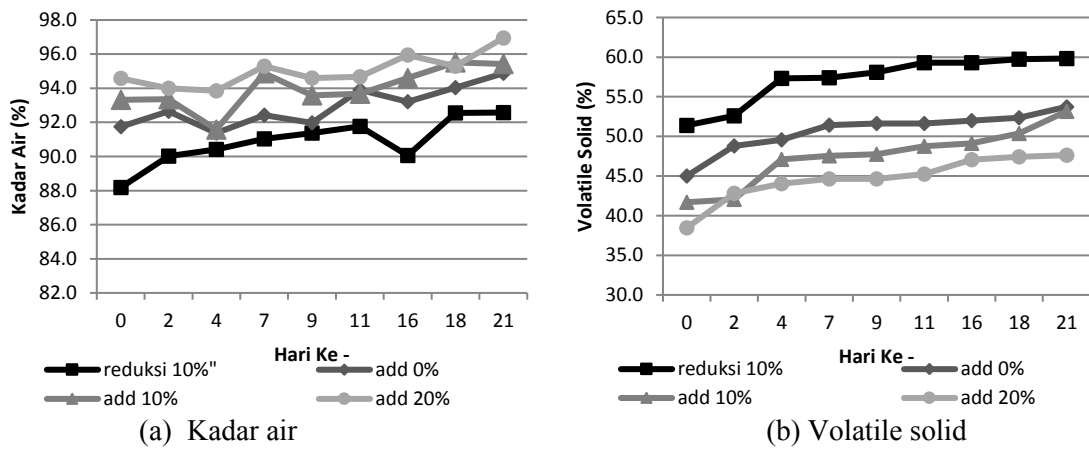
Untuk melihat pengaruh kadar air pada proses laktofermentasi dilakukan dengan memvariasikan rasio air pencampur, diantaranya reduksi 10% air sampel serta penambahan (*add*) 0%, 10%, dan 20% air pencampur. Hasil karakteristik sampel tinja dengan variasi kadar air pencampur dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Karakteristik sampel tinja dengan variasi kadar air

Parameter	Satuan	Rasio kadar air			
		Reduksi 10%	Add 0%	Add 10%	Add 20%
pH		5,63	6,57	6,26	6,47
Kadar Air	%	88,18	91,74	93,31	94,58
Kadar Volatile	%	51,39	45	41,69	38,45
TOC	mg/L	23962,9	22821,8	20435,9	17738,8
NTK	mg/L	2660,0	1820,0	1610,0	1442,0
Total Phosphat	mg/L	6,421	7,794	17,618	5,055
TAV	mg/L	2463,25	1642,17	1642,17	2463,25
Amonium	mg/L	272	289	255	323
H <sub>2</sub> S	mg/L	8,43	15,66	6,86	5,57

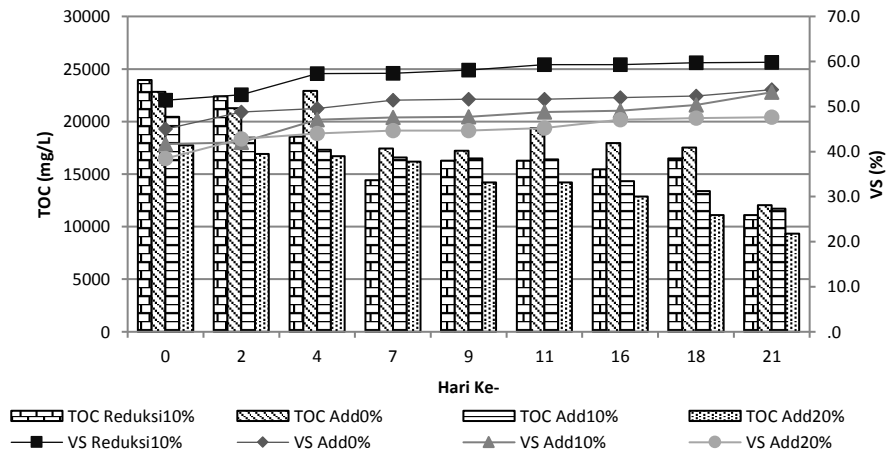
### Kinerja Reaktor Terhadap Pengaruh Kadar Air Pencampur

Material padatan organik ataupun anorganik yang tersuspensi dalam limbah diperhitungkan sebagai *total solid* dan *volatil solid*. Kedua parameter ini sangat erat kaitannya dengan pertumbuhan mikroorganisme di dalam reaktor. Dalam penelitian ini digunakan sumber inokulum EM<sub>4</sub>. Dari **Gambar 4** terlihat reaktor dengan pengurangan 10% air sampel memiliki nilai total volatile yang mempresentasikan biomassa paling tinggi. Hal ini dikarenakan efek pemekatan dan pengenceran, sehingga semakin kecil kadar air pencampur, konsentrasi biomassa semakin besar. Seiring waktu, kadar air di reaktor mengalami peningkatan, ini menunjukkan padatan organik mulai berada dalam bentuk terlarut. Pada tahapan hidrolisis/ fermentasi terjadi penyederhanaan rantai molekul organik dan perubahan materi organik tak terlarut menjadi terlarut. Semakin besar kadar air, proses metabolisme oleh mikroorganisme semakin cepat dan degradasi nutrisi semakin baik karena substrat dalam bentuk terlarut akan lebih mudah untuk didegradasi (Malisie *et al.*, 2010).



**Gambar 4.** Pengamatan parameter pada proses laktofermentasi

Penyisihan kadar organik berkaitan dengan pertumbuhan biomassa yang direpresentasikan oleh parameter volatile solid (VS). Pada **Gambar 5** dapat dilihat hubungan antara parameter TOC dan VS. Parameter TOC memberikan penyisihan terbesar sampai hari ke-9, sedangkan parameter VS memberikan lonjakan terbesar sampai hari ke-7. Ini dikarenakan karbon organik digunakan oleh mikroorganisme pada metabolisme dan pembelahan selnya, sehingga parameter TOC akan menurun dan parameter VS akan meningkat.

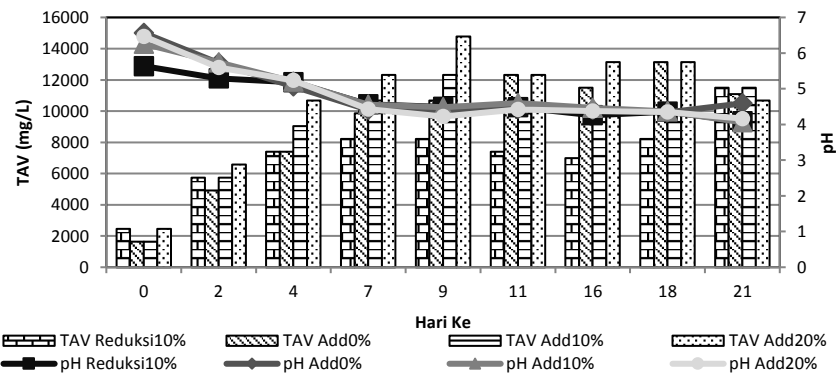


Pada **Tabel 5**, dapat dilihat bahwa penyisihan terbesar terjadi pada reaktor dengan pengurangan 10% kadar air sampel. Ini berkaitan dengan kadar air optimum pada reaktor. Bakteri asam laktat bekerja optimum pada kadar air hingga 90%. Pada reaktor dengan pengurangan 10% kadar air sampel, kadar air mencapai 90% pada hari ke-7 sehingga masih berada pada rentang kadar air optimum bakteri asam laktat.

**Tabel 5.** Efisiensi penyisihan parameter organik dan bau

Rasio Air Pencampur	Efisiensi Penyisihan (%)					Produksi Asam Laktat (%)
	TOC	TKN	N-organik	Phospate	H <sub>2</sub> S	
<b>Reduksi 10%</b>	53,68	65,79	79,69	42,43	89,02	3,87
<i>Add 0%</i>	47,27	59,23	82,63	78,61	88,65	3,24
<i>Add 10%</i>	42,64	24,35	30,18	36,88	90,57	2,34
<i>Add 20%</i>	47,37	10,68	19,84	53,61	89,79	1,35

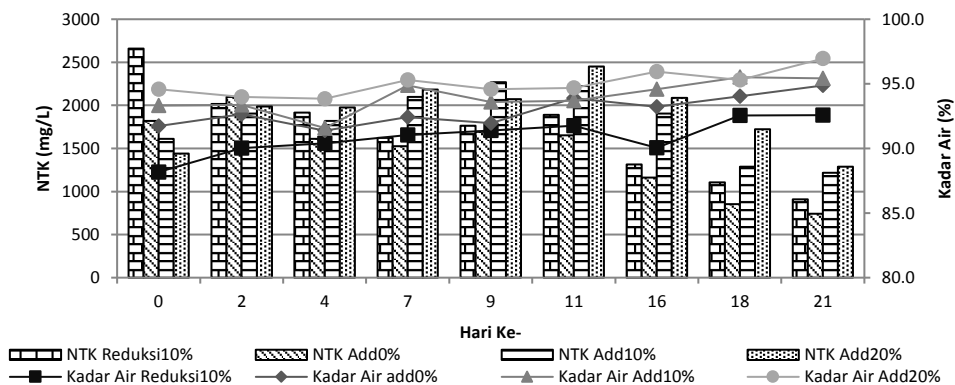
Selain itu dilakukan analisa TAV yang terbentuk pada proses. Pengukuran TAV dilakukan untuk mengetahui besarnya volatile asam yang terbentuk di dalam reaktor. Ketika substrat mulai terdegradasi, total asam volatil akan meningkat.



**Gambar 6.** Profil parameter TAV dan pH

Berdasarkan **Gambar 6** di atas, konsentrasi TAV meningkat seiring turunnya nilai pH. Hal ini disebabkan karena proses fermentasi oleh bakteri asam laktat yang menghasilkan asam dalam reaktor dan akan menurunkan nilai pH sampel. El Jalil *et al.* (2008) menyebutkan bahwa peningkatan konsentrasi TAV dapat menjelaskan penurunan nilai pH pada sampel tinja dan mengindikasikan pertumbuhan kultur starter EM<sub>4</sub> yang salah satu komponennya adalah bakteri asam laktat. Untuk setiap reaktor, nilai TAV mengalami peningkatan sampai hari ke 9, lalu relatif stabil sampai akhir pengolahan.

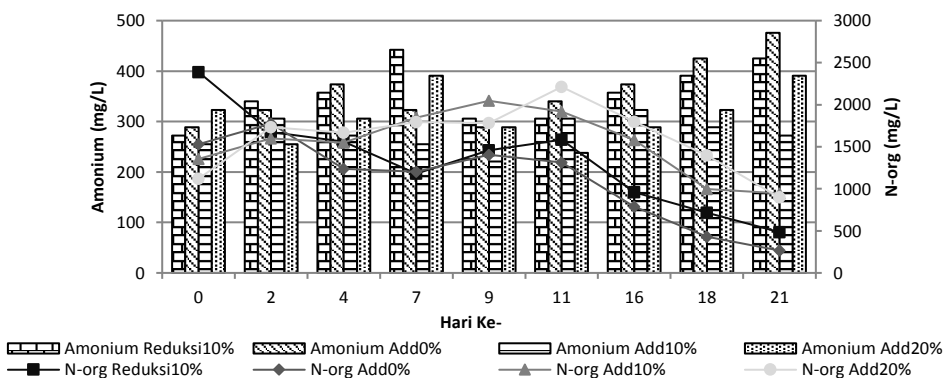
Nitrogen merupakan salah satu makro nutrien yang dibutuhkan oleh bakteri. Pada penelitian ini nitrogen diukur sebagai nitrogen total kjedahl (NTK) yang menunjukkan kandungan nitrogen organik dan nitrogen amonia di dalam larutan. Konsentrasi NTK yang terukur akan ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Profil parameter NTK dan kadar air

Peningkatan NTK terjadi pada beberapa sampel reaktor. Hal ini dimungkinkan bakteri sedikit sekali mengkonsumsi nitrogen. Selain itu peningkatan konsentrasi NTK disebabkan oleh peningkatan konsentrasi amonia. Penyisihan NTK yang signifikan terjadi dari hari ke-11, ini disebabkan karena pada awal reaksi, bakteri asam laktat masih mendegradasi karbon organik, sehingga degradasi NTK belum berjalan dengan optimal. Jika dilihat dari Gambar 5, konsentrasi TOC sudah relatif stabil dimulai hari ke-9, ini menunjukkan bakteri laktofermentasi mulai bekerja pada penyisihan nutrisi lain seperti nitrogen.

Nitrogen anorganik dihasilkan dalam dua bentuk yaitu ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan amonia bebas ( $\text{NH}_3$ ) (Malina dan Pohland, 1992 dalam Hanuputri, 2009). Amonia dalam bentuk bebas ( $\text{NH}_3$ ) bersifat lebih toksik dibandingkan dengan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Keseimbangan amonia dan amonium di alam mengikuti Persamaan 1.



Gambar 8. Hubungan antara parameter amonium dan nitrogen organik

Parameter pH pada keempat reaktor mencapai pH 4 pada hari ke-2. Kondisi asam ini akan mempengaruhi keseimbangan amonium-amonia yang akan bergeser ke arah amonium (Asano *et al.*, 2010). Peningkatan kadar amonium dalam sampel berbanding lurus dengan pengurangan laju volatilisasi amonia yang menyebabkan masalah bau. Kadar amonium yang tinggi juga menguntungkan dalam proses pembentukan kompos yang merupakan tujuan akhir dari proses *Terra Preta Sanitation*. Peningkatan amonium dapat menjadi buffer untuk mengatasi tingginya konsentrasi asam volatil (Varel *et al.*, 2008). Selain itu, peningkatan nilai amonium ( $\text{NH}_4^+$ -N) dalam sampel mengindikasikan penurunan kehilangan amonia ( $\text{NH}_3$ ) akibat volatilisasi dan dengan demikian membuat sampel tinja yang diolah memiliki nilai *fertilizer* yang semakin tinggi (Moore *et al.*, 1996, dalam Huang *et al.*, 2008).

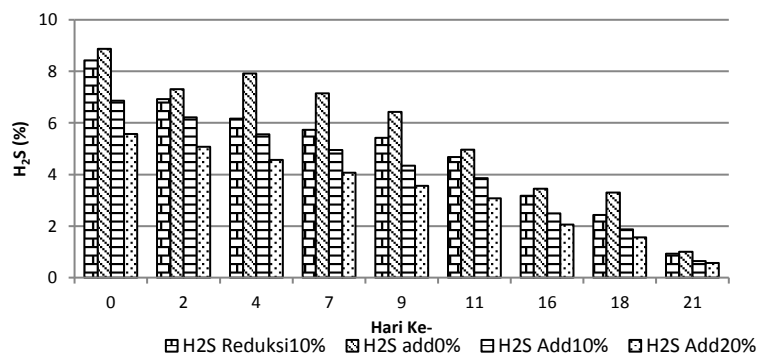


N-organik pada lumpur tinja akan dikonversi menjadi amonia oleh bakteri heterotrof dalam kondisi aerob maupun anaerob. Hubungan antara N-organik, NTK, dan amonium ditunjukkan pada **Persamaan 2**.

$$\text{N-organik} = \text{NTK} - \text{amonium} \quad \text{(Persamaan 2)}$$

Pada **Gambar 8** dapat dilihat penurunan kadar N-organik berbanding lurus dengan peningkatan kadar amonium dalam reaktor. Hal ini disebabkan bakteri heterotrof di dalam tinja mengkonversi N-organik menjadi amonia. Amonia di dalam reaktor selanjutnya berubah menjadi amonium berdasarkan kesetimbangan amonia-amonium sehingga kadar amonium di dalam reaktor bertambah dan kadar N-organik di dalam reaktor berkurang. Efisiensi penyisihan nitrogen organik dapat dilihat pada **Tabel 5**. Konversi N-organik menjadi amonium meningkatkan nilai *fertilizer* pada tinja yang sudah diolah melalui proses laktofermentasi sebab nitrogen dalam bentuk amonium lebih mudah dimanfaatkan tanaman daripada N-organik. Selain itu, pada **Tabel 5** dapat dilihat efisiensi penyisihan fosfat pada masing-masing variasi kadar air.

Parameter kimia yang menjadi indikator bau pada penelitian ini adalah H<sub>2</sub>S. Kadar H<sub>2</sub>S pada sampel tinja dapat dijadikan sebagai salah satu indikator penurunan bau pada proses laktofermentasi karena baunya yang khas dan keberadaannya mudah dideteksi.



**Gambar 9.** Profil penurunan konsentrasi parameter H<sub>2</sub>S

Dari **Gambar 9** dapat dilihat bahwa penyisihan H<sub>2</sub>S pada reaktor sangat baik. H<sub>2</sub>S terbentuk saat bakteri menggunakan oksigen sulfat untuk mengkonversi zat organik. Pada kondisi pH rendah seperti yang terjadi pada penelitian ini, H<sub>2</sub>S akan mengalami konversi dari fase terlarut menjadi fase gas. Hal ini akan menyebabkan konsentrasi H<sub>2</sub>S pada sampel menurun. Efisiensi pengolahan dalam penyisihan H<sub>2</sub>S dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Pada proses laktofermentasi, salah satu indikator telah tercapainya kondisi fermentasi adalah terbentuknya asam laktat (John *et al.*, 2007). Produksi asam laktat yang dihasilkan di akhir masa reaksi ditunjukkan pada **Tabel 5**. Kadar asam laktat terbentuk lebih banyak pada reaktor dengan reduksi 10% air sampel. Hal ini disebabkan pada proses laktofermentasi, bakteri asam laktat tumbuh optimum pada kadar air hingga 90%. Pada kadar air di atas 90% mikroorganisme dominan di dalam sistem bukan bakteri melainkan jamur. Jamur yang mampu melakukan laktofermentasi dan menghasilkan asam laktat adalah jamur jenis *Rhizopus* (Manfaati, 2010). Pada kultur campuran EM<sub>4</sub>, meskipun terdapat jamur tetapi jamur yang terkandung di dalam EM<sub>4</sub> bukan *Rhizopus* sehingga tidak mempengaruhi produksi asam laktat. Kadar asam laktat yang tinggi dapat menjadi indikasi bahwa proses laktofermentasi berlangsung lebih baik pada kondisi air pencampur yang lebih sedikit.

### Kinetika Laju Penyisihan Substrat dan Pertumbuhan Biomassa

Laju penyisihan organik menggunakan **Persamaan 3**. Perhitungan kinetika penyisihan substrat dapat dilihat pada **Tabel 6**.

$$q = \frac{dS}{Xdt} \quad \text{(Persamaan 3)}$$

**Tabel 6.** Kinetika Penyisihan Substrat pada Variasi Kadar Air Pencampur

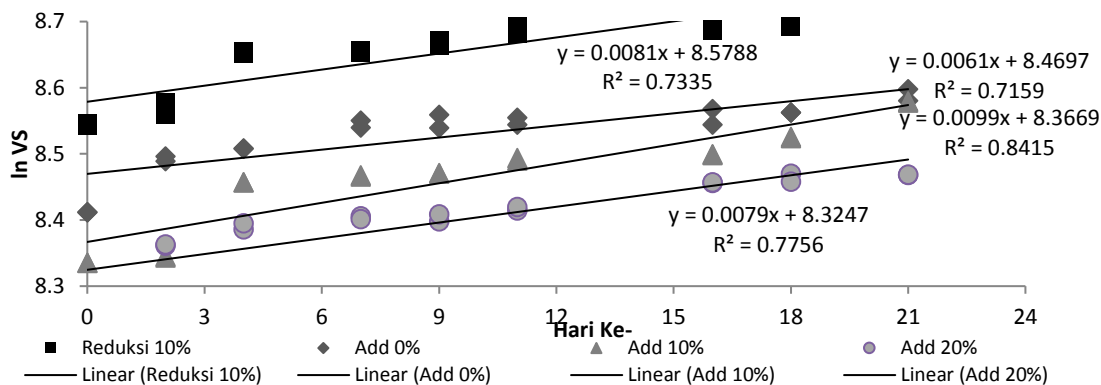
Reaktor	TOC 0	TOC t	X	q
Reduksi 10%	23962,86	11099,79	5982,491	0,102
Add 0%	22821,79	12033,4	5373,304	0,096
Add 10%	20435,89	11722,2	5316,653	0,078
Add 20%	17738,8	9336,308	4762,205	0,084

Berdasarkan **Tabel 6** terlihat semakin kecil kadar air pencampur, laju penyisihan senyawa organik semakin tinggi. Ini berkaitan dengan kondisi kadar air optimum yang tidak lebih dari 90%.

Selain pengamatan terhadap laju pemakaian substrat, laju pertambahan biomassa juga diamati berdasarkan **persamaan 4**.

$$\mu = \frac{dX}{Xdt} \quad \text{(Persamaan 4)}$$

Dengan mengubah **Persamaan 4**, didapatkan persamaan linear dengan  $\ln VS$  sebagai sumbu Y dan hari sebagai sumbu X dengan gradient merupakan laju pertumbuhan biomassa. Laju pertumbuhan biomassa dapat dilihat pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** Profil laju pertumbuhan spesifik

Laju pertumbuhan biomassa lebih besar pada reaktor dengan kadar air yang lebih tinggi. Ini dikarenakan substrat dalam bentuk terlarut akan lebih mudah digunakan oleh mikroorganisme dan mengakibatkan pertumbuhan biomassa akan lebih besar pada reaktor dengan kadar air yang lebih tinggi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa variasi kadar air dengan pengurangan 10% air sampel memberikan pengaruh yang signifikan. Dari hasil analisis penyisihan organik dapat disimpulkan bahwa terdapat kecenderungan penurunan konsentrasi organik. Sampel dengan reduksi 10% air sampel memberikan penyisihan organik dan produksi asam laktat paling signifikan. Ini berkaitan dengan kadar air optimum pada reaktor. Bakteri asam laktat bekerja optimum pada kadar air hingga 90%. Pada kinetika laju penyisihan substrat, reaktor dengan pengurangan 10% air sampel memberikan hasil terbaik, tetapi pada kinetika pertumbuhan biomassa, reaktor dengan penambahan 20% air pencampur memberikan hasil terbaik. Substrat dalam bentuk terlarut lebih mudah digunakan oleh mikroorganisme.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdel, H. Mohsein, Yamamoto N., Otawa K., Tada C., dan Nakai Y. 2010. Isolation of Bacteriocin-Like Substances Producing Bacteria from Finished Cattle-Manure Compost

- and Activity Evaluation Against Some Food-Borne Pathogenic and Spoilage Bacteria. *J Gen Appl Microbiol.* 56(2):151-61.
- Asano, Ryoki, Kenichi Otawa, Yuhei Ozutsumi, Nozomi Yamamoto, Hosnia Swafy Abdel Mohsein, dan Yutaka Nakai. 2010. Development and Analysis of Microbial Characteristic of an Acidulocomposting System for the Treatment of Garbage and Cattle Manure. *J Biosci Bioeng.* 110(4):419-25
- Callewaert, Raf dan Luc De Vuyst. 2000. Bacteriocin Production With *Lactobacillus Amylovorus* DCE 471 Is Improved and Stabilized By Fed-Batch Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol 66 No 2 ; 606–613
- El-Jalil M.H., A. Zinedine dan M. Faid. Some Microbiological and Chemical Properties Of Poultry Wastes Manure After Lactic Acid Fermentation. *International Journal Of Agriculture & Biology Vol. 10, No. 4*
- Factura H., Bettendorf T., Buzie C., Pieplow H., Reckin J., dan Otterpohl R. 2010. Terra Preta Sanitation: Re-discovered from an Ancient Amazonian Civilisation – Integrating Sanitation, Bio-waste Management and Agriculture. *Water Science and Technology.* 2010;61(10):2673-9
- Febriana, Adhityanti, Prayatni Soewondo, Marisa Handajani, dan Mayrina Firdayanti. 2012. *Effect of Mixing Water Ratio On Feces Treatment Based on Terra Preta Sanitation System Concept.* The 5<sup>th</sup> ASEAN Civil Engineering Conference. Ho Ci Minh City, Vietnam
- Huang, Can, Li Ji, Kang Wen Li, dan Tang Xin Yan. 2006. Effect of Adding *Lactobacillus plantarum* and Soluble Carbohydrates to Swine Manure on Odor Compounds, Chemical Composition, and Indigenous Flora. *Journal of Environmental Science* 18(1):201-206
- John, Rojan P, K. Madhavan Nampoothiri, dan Ashok Pandey. 2007. Fermentative Production of Lactic Acid from Biomass: An Overview on Process Developments and Future Perspective. *Appl Microbiol Biotechnol* 74:524–534
- Malisie, M. Prihdanrijanti dan Ralf Otterpohl. *The Potential of Nutrient Reuse From A Source-Separated Domestic Wastewater System in Indonesia – Case Study: Ecological Sanitation Pilot Plant in Surabaya.*
- Manfaati, Rintis. 2010. *Kinetika Dan Variabel Optimum Fermentasi Asam Laktat Dengan Media Campuran Tepung Tapioka Dan Limbah Cair Tahu Oleh Rhizopus Oryzae.* Tesis Teknik Kimia Universitas Diponegoro: Semarang
- Ndaw, A.D, M. Faid, A. Bouseta dan A. Zinedine. 2008. Effect of Controlled Lactic Acid Bacteria Fermentation On The Microbiological and Chemical Quality of Moroccan Sardines (*Sardina pilchardus*). *International Journal of Agriculture & Biology Vol. 10, No. 1*
- Otterpohl, R. 2009. Terra Preta Sanitation-Providing New Options in Ecosan Systems. Hamburg: Institute of Wastewater Management and Protection (AWW), Technical University Hamburg-Harburg (TUHH)
- Sudarno, Diah Eka. 2006. Analisis Kinerja Sistem Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kota Magelang. *Jurnal Presipitasi Vol 1 No 1, ISSN 1907-187X*
- Varel, V.H, J.E Wells, E.D Berry, M.J Spiehs, D.N Miller, C.L Ferrell, S.D Shackelford dan M. Koohmaraie. 2008. Odorant Production and Persistence of *Escherichia Coli* In Manure Slurries From Cattle Fed Zero, Twenty, Forty, Or Sixty Percent Wet Distillers Grains With Solubles. *Journal Animal Science* 86:3617–3627
- Wang, Qunhui, Jun-Ya Narita, Wei Min Shi, Yukihide Ohsumi, Kohji Kusano, Yoshihito Shirai, dan Hiroaki Ogawa. 2002. Effects of Anaerobic/Aerobic Incubation and Storage Temperature on Preservation and Deodorization of Kitchen Garbage. *Bioresource Technology* 84:213–220
- Yemaneh, Asrat and Ralf Otterpohl. 2013. *Combined Lactic Acid Fermentation and Vermicomposting Processes for Safe and More Efficient Recycling of Human Excreta in Terra Preta Sanitation.* International Postgraduate Studies in Water technologies. Hamburg University of Technology