

# PENGARUH WAKTU FERMENTASI TERHADAP PRODUKSI BIOGAS MENGGUNAKAN DIGESTER DUA TAHAP PADA BERBAGAI KONSENTRASI PALM OIL-MILL EFFLUENT DAN LUMPUR AKTIF

Effects of Fermentation Time toward Biogas Production by Using Two Stages Digester on Various Palm Oil-Mill Effluent and Activated Sludge Concentration

Siti Mujdalipah<sup>1</sup>, Salundik Dohong<sup>2</sup>, Ani Suryani<sup>3</sup>, Amalia Fitria<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Teknologi Agroindustri, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Bandung 40154

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor, Jl. Agatis, Kampus IPB Darmaga No. 302, Bogor 16680

<sup>3</sup>Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Raya Pajajaran No. 1, Bogor 16153

<sup>4</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, PO Box 220 Bogor 16680  
Email: siti.mujdalipah@gmail.com

## ABSTRAK

Produksi biogas dari limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dan lumpur aktif yang berasal dari feses sapi segar melalui beberapa tahap reaksi pada satu digester menyebabkan terhambatnya reaksi fermentasi anaerobik. Pengembangan proses produksi biogas menggunakan digester dua tahap dapat mengoptimalkan reaksi fermentasi anaerobik. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh waktu fermentasi terhadap produksi gas dari perlakuan kombinasi substrat (limbah cair dan lumpur aktif) pada digester 2 tahap. Penelitian terdiri dari tiga tahap, yaitu 1) analisis substrat, 2) proses produksi biogas menggunakan digester 2 tahap, dan 3) analisis data. Penelitian ini menggunakan tiga kombinasi bahan baku, yaitu POME sebesar 90, 80, dan 70 % dan lumpur aktif sebesar 10, 20, dan 30%. Kombinasi POME 90% dan lumpur aktif 10% dilambangkan  $90_{LC}:10_{LA}$ , kombinasi POME 80% dan 20% lumpur aktif dilambangkan  $80_{LC}:20_{LA}$ , dan kombinasi POME 70% dan 30% lumpur aktif dilambangkan  $70_{LC}:30_{LA}$ . Bahan baku diumpungkan ke dalam digester dua tahap dengan laju alir 0,35 L/hari selama 40 hari. Hasil menunjukkan bahwa waktu fermentasi memberikan pengaruh yang nyata terhadap produksi biogas pada digester tahap II. Seluruh kombinasi memperlihatkan tren peningkatan volume biogas selama waktu fermentasi. Prosentase peningkatan volume biogas tertinggi antara digester I dan digester II sebesar 121,29 % terjadi pada kombinasi  $80_{LC}:20_{LA}$ . Waktu fermentasi pada digester tahap II untuk kombinasi  $90_{LC}:10_{LA}$ ,  $80_{LC}:20_{LA}$ , dan  $70_{LC}:30_{LA}$  juga memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai pH. Volume biogas tertinggi selama 40 hari waktu fermentasi didapatkan pada kombinasi  $90_{LC}:10_{LA}$ , yaitu sebesar 11,35 liter.

**Kata kunci:** POME, feses sapi, lumpur aktif, biogas, digester dua tahap

## ABSTRACT

The production of biogas from palm oil-mill effluent (POME) and activated sludge derived from fresh cow feces through a few stages of the reaction at a single digester inhibited the reaction of anaerobic fermentation. The development of the biogas production process using two stages digester can optimize the anaerobic fermentation reactions. The aims of this research was to know the fermentation time effect toward biogas production in two stage digester. The study was done in three stages, that are substrate analysis, biogas production by using two stages digester, and data analysis. The study was done in three combinations of feedstock which were POME concentrations of 90, 80, and 70% and activated sludge concentrations of 10, 20, and 30%. A mixture of POME and activated sludge at 0.35 L/day for 40 days were fed

into two stages digester. Combination POME of 90% and activated sludge of 10% was denoted 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, combination POME of 80% and activated sludge of 20% was denoted 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, and combination POME of 70% and activated sludge of 30% was denoted 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub>. The result showed the fermentation time gave significant effect toward biogas production in the second stage digester. All combinations showed the upward trend in the volume of biogas during fermentation. Combination 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> showed the highest volume increases from 1<sup>st</sup> digester to 2<sup>nd</sup> digester, that was 121,29%. Fermentation time in 2<sup>nd</sup> digester for all combinations (90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, and 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub>) gave significant effects toward pH where pH increased for 40 days the fermentation time. The highest volume of biogas was reached when POME and activated sludge in combination 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>. It was 11.35 L.

**Keywords:** POME, activated sludge, biogas, two stages digester

## PENDAHULUAN

Industri minyak sawit Indonesia menunjukkan perkembangan yang menakjubkan. Saat ini Indonesia merupakan produsen minyak sawit pertama dunia. Namun demikian, industri pengolahan kelapa sawit menyebabkan permasalahan lingkungan yang perlu mendapat perhatian, antara lain adalah mesokarp, serat, tempurung, tandan kosong kelapa sawit, dan limbah cair atau yang umum disebut *palm oil mill effluent* (POME). Potensi limbah cair untuk setiap ton pengolahan TBS pada industri pengolahan kelapa sawit dapat mencapai 50% dari total limbah pengolahan sawit lainnya (Ditjen PPHP-Deptan, 2006). Proses pengolahan kelapa sawit menggunakan metode basah menghasilkan limbah POME dalam jumlah lebih besar. POME juga dihasilkan pada tahap pencucian hidrosiklon dan proses pembersihan alat-alat pengolahan (Hassan dkk., 2004). Selama proses ekstraksi minyak sawit, dihasilkan sekitar 1,5 ton POME untuk setiap ton tandan buah segar kelapa sawit (TBS) (Zinatizadeh dkk., 2006). Untuk setiap produksi 1 ton CPO diperlukan 5-7,5 ton air maka lebih dari 50% dari air tersebut berpotensi untuk menjadi limbah (Wu dkk., 2007).

Beberapa inovasi teknologi telah dicoba dikembangkan dan diaplikasikan untuk mengolah POME. Pendekatan proses biologi merupakan metode yang paling banyak digunakan mengingat POME kaya akan kandungan bahan organik yang dapat dengan mudah diuraikan oleh mikroorganisme. Lebih dari 85% industri pengolahan kelapa sawit menggunakan sistem kolam biasa (*ponding system*) karena biayanya rendah. Akan tetapi, pengolahan limbah cair sistem kolam memiliki kelemahan antara lain membutuhkan areal kolam yang cukup luas, perlu pemeliharaan dan penanganan lumpur dalam kolam, padatan tersuspensi dari lumpur ini tidak/sedikit didegradasi sehingga konsentrasinya akan semakin meningkat dan mengendap di dasar kolam, terjadinya pendangkalan kolam akibat adanya endapan lumpur, terjadinya pengurangan jumlah nutrisi, terjadinya pencemaran sungai, terjadinya polusi udara yang dapat menyebabkan efek rumah kaca akibat terbuangnya gas metan yang dihasilkan dari proses penguraian anaerobik bahan organik (Ditjen PPHP-Deptan,

2006). Sementara itu hanya sedikit sekali industri yang dilengkapi dengan sistem pengolahan limbah cair menjadi biogas. Padahal teknik ini memberikan keuntungan antara lain tidak memerlukan lahan yang cukup luas, menghasilkan gas yang berpotensi untuk dijadikan bahan bakar yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator di industri setempat, mampu menghasilkan gas hingga 28 m<sup>3</sup> per ton limbah yang diolah, dan menghasilkan hasil samping yang baik untuk dimanfaatkan sebagai pupuk (Ditjen PPHP-Deptan, 2006).

Biogas adalah campuran beberapa gas yang merupakan hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerobik, yang terdiri dari campuran metana (50-75%), CO<sub>2</sub> (25-45%), dan sejumlah kecil H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S. Biogas digunakan sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik, setiap satu m<sup>3</sup> metana setara dengan 10 kWh. Nilai ini setara dengan 0,61 L *fuel oil*, energi ini setara dengan 60-100 watt lampu penerangan selama 6 jam (Hambali dkk., 2007).

Pengembangan metode yang efektif dan sederhana untuk mengolah limbah cair industri pengolahan kelapa sawit perlu dilakukan. Metode pengolahan secara anaerobik adalah pendekatan yang paling mungkin untuk itu. Fermentasi anaerobik adalah proses pengolahan senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah menjadi gas metana dan karbondioksida tanpa memerlukan oksigen (Manurung, 2004). Tahap fermentasi anaerobik dapat digolongkan menjadi empat tahapan reaksi, yaitu tahap hidrolisis, tahap pembentukan asam (*asidogenesis*), tahap pembentukan asetat (*asetogenesis*), dan tahap pembentukan gas metana (*metanogenesis*).

Hidrolisis berupa proses dekomposisi biomassa kompleks menjadi glukosa sederhana. *Asidogenesis* merupakan proses perombakan monomer dan oligomer menjadi asam asetat, CO<sub>2</sub>, asam lemak rantai pendek, serta alkohol. *Asetogenesis* menghasilkan asam asetat, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>. Sementara *metanogenesis* merupakan perubahan senyawa-senyawa menjadi gas metana yang dilakukan oleh bakteri methanogenik (Gijzen, 1987).

Pada masing-masing tahapan reaksi terdapat perbedaan kondisi optimum mikroorganisme, keberadaan oksigen, pH, sehingga apabila seluruh tahapan reaksi dilakukan pada satu

digester dapat menghambat produksi biogás. Penggunaan digester dua tahap memisahkan beberapa tahap reaksi. Tahap hidrolisis, *asidogenesis*, dan *asetogenesis* terjadi pada digester tahap I. Sementara itu, *metanogenesis* terjadi pada digester tahap II (Demirel dan Yenigun, 2002). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu fermentasi terhadap produksi biogas pada berbagai kombinasi substrat menggunakan digester 2 tahap.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan bahan baku utama berupa limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dari pabrik CPO PTPN VIII Kertajaya dan lumpur aktif yang berasal dari campuran lumpur digester anaerobik dan feses sapi segar dari laboratorium Lapangan Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor. Bahan-bahan kimia yang digunakan antara lain larutan NaOH 40%, larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, larutan H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 4%, BCG-MR, HCl 0,01 N, selen, buffer karbonat, dan aquades.

Peralatan yang digunakan antara lain tangki digester dua tahap, *gasflow meter*, selang plastik, pipa, sentrifuge, alat destilasi, oven, tanur, neraca analitik, labu kjedahl, pembakar bunsen, indikator pH, termometer, dan *stopwatch*. Penelitian ini terdiri dari 3 tahap, yaitu: 1) Analisis bahan baku, 2) Produksi biogas menggunakan digester 2 tahap, dan 3) Analisis data.

**Analisis Bahan Baku**

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan baku POME. Analisis yang dilakukan meliputi pH, TVS (APHA ed 21<sup>th</sup> 2540E, 2005), dan C/N rasio (APHA ed 21<sup>th</sup> 4500-Norg C, 2005).

**Proses Produksi Biogas Menggunakan Digester 2 Tahap**

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini didapat dengan mencampurkan limbah cair dan lumpur aktif dengan kombinasi 90% POME (LC) dan 10% lumpur aktif (LA), 80 % POME (LC) dan 20 % lumpur aktif (LA), serta 70 % POME (LC) dan 30 % lumpur aktif (LA) yang selanjutnya disebut sebagai 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, dan 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub>. Masing-masing kombinasi dimasukkan ke dalam digester dua tahap selama 40 hari masa fermentasi untuk menghasilkan biogas. Analisis pH, suhu, dan volume gas dilakukan tiap hari.

**Analisis Data**

Analisis yang digunakan adalah Analisis Regresi Linear dan Analisis Keragaman. Pengolahan data dilakukan menggunakan *Microsoft Excel Data Analysis* pada taraf beda nyata (P<0,05).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakteristik Bahan Baku**

Substrat yang digunakan dalam fermentasi anaerobik berasal dari campuran limbah pabrik minyak kelapa sawit dan lumpur aktif dari feses sapi segar. Sebelum dimasukkan ke dalam digester untuk dilakukan proses fermentasi, substrat terlebih dahulu dianalisis kandungan karbon, nitrogen, pH dan *total volatile solid* (TVS) untuk mengetahui potensi substrat dalam menghasilkan biogas. Hasil analisis substrat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik substrat

Parameter	Komposisi substrat		
	90 <sub>LC</sub> :10 <sub>LA</sub>	80 <sub>LC</sub> :20 <sub>LA</sub>	70 <sub>LC</sub> :30 <sub>LA</sub>
Karbon (mg/l)	14.400	20.500	19.600
Nitrogen (mg/l)	646,80	672,41	660,60
pH	5	6	5,67
C/N	22,26	30,48	29,67
TVS (%)	2,56	3,77	3,62

Berdasarkan hasil analisis, nilai C/N ketiga kombinasi berada pada rentang yang mendekati C/N optimum. Menurut Simamora dkk. (2006), rasio C/N yang optimum bagi mikroorganisme perombak adalah 20-25. Untuk itu, ketiga kombinasi bahan baku dapat dijadikan substrat dalam proses fermentasi anaerobik. Sumber C dan N diperlukan mikroba yang berperan dalam proses secara anaerobik sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroba tersebut. Apabila kandungan N di dalam substrat sedikit, maka bakteri tidak dapat memproduksi enzim yang dibutuhkan untuk mensintesis senyawa (substrat) yang mengandung karbon. Sementara itu, apabila substrat terlalu banyak mengandung N, pertumbuhan bakteri akan terhambat akibat terdapat ammonia dalam jumlah besar (Yani dan Darwis, 1990).

Perbandingan C/N yang terlalu rendah akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH<sub>4</sub> rendah, CO<sub>2</sub> tinggi, H<sub>2</sub> rendah dan N<sub>2</sub> tinggi. Perbandingan C/N yang terlalu tinggi akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH<sub>4</sub> rendah, CO<sub>2</sub> tinggi, H<sub>2</sub> tinggi, dan N<sub>2</sub> rendah. Perbandingan C/N yang seimbang akan menghasilkan biogas dengan CH<sub>4</sub> tinggi, CO<sub>2</sub> sedang, H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> rendah (Fry, 1974).

Kandungan TVS substrat berada pada kisaran 2,56 – 3,77%. Kandungan TVS berkaitan erat dengan kandungan air dalam substrat. Menurut Sadaka dan Eangler (2003) dalam Budiyo dkk. (2010), air berperan penting dalam pergerakan dan pertumbuhan mikroba, transport nutrisi, dan meningkatkan perpindahan massa partikel-partikel substrat. Kandungan TVS yang rendah menunjukkan kandungan air

yang banyak. Menurut Balsam (2002) dalam Budiyono dkk. (2010), produksi biogas terjadi secara optimum apabila substrat memiliki nilai TVS 7-9%. Baserja (1984) dalam Budiyono dkk. (2010) melaporkan bahwa proses produksi biogas tidak stabil apabila kandungan TVS substrat di bawah 7%. Sementara itu, apabila kandungan TVS substrat lebih dari 10% akan menyebabkan fermentor *overload*. Kandungan TVS substrat yang digunakan dalam penelitian ini jauh dari kandungan ideal yang harus dimiliki substrat. Hal ini mungkin akan mempengaruhi produksi biogas. Profil produksi biogas yang dihasilkan akan disampaikan pada pembahasan selanjutnya.

**Produksi Biogas Menggunakan Digester 2 Tahap**

Hasil penelitian produksi gas dari limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dan lumpur aktif menggunakan digester dua tahap sistem kontinyu skala laboratorium volume 15 liter dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Total produksi gas

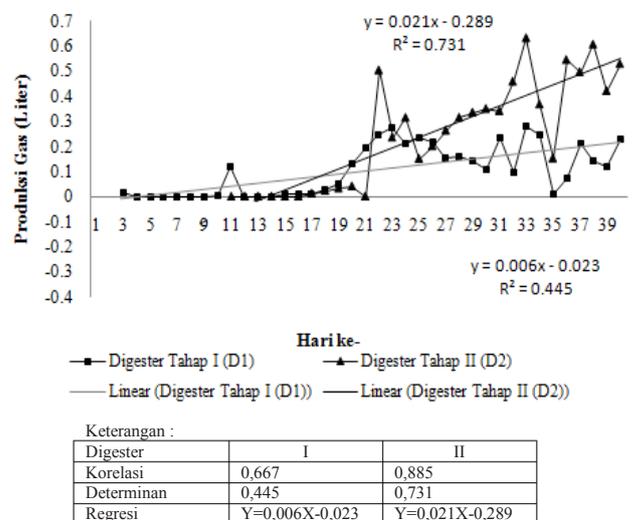
Kombinasi (LC:LA)	Digester tahap ke-		Total volume (Liter)	Peningkatan produksi (%)
	I	II		
90:10	4	7,35	11,35	83,75
80:20	1,08	2,39	3,47	121,29
70:30	1,77	2,57	4,34	45,19

Keterangan :  
 LC : Limbah Cair  
 LA : Lumpur Aktif

Produksi gas tertinggi diperoleh pada kombinasi bahan baku 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> pada digester tahap II (D2) sebesar 7,35 liter, sedangkan produksi gas terendah diperoleh pada kombinasi bahan baku 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> pada digester tahap I (D1) sebesar 1,08 liter. Produksi gas pada D2 lebih tinggi dibandingkan pada D1 pada semua kombinasi dengan prosentase peningkatan produksi gas tertinggi pada 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> sebesar 121,29% diikuti oleh 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> dan 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> sebesar 83,75% dan 45,19%. Hasil ini melebihi hasil yang diperoleh dari penelitian Boe (2006) yang menyatakan bahwa produksi gas pada digester bertahap meningkat sebesar 11% dibandingkan digester satu-tahap. Lebih rendahnya produksi gas pada digester tahap I dikarenakan pada digester tahap I didominasi terjadinya proses hidrolisis, *asidogenesis*, dan *asetogenesis*. Pada hidrolisis terjadi proses dekomposisi biomassa kompleks menjadi glukosa sederhana memakai enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme untuk menghasilkan biomassa yang menjadi dapat larut dalam air dan mempunyai bentuk yang lebih sederhana. Pada proses *asidogenesis*, monomer dan oligomer biomassa hasil proses hidrolisis mengalami perombakan menjadi CO<sub>2</sub>, asam lemak rantai pendek, serta alkohol. Pada

proses *asetogenesis*, asam dan alkohol diubah menjadi asam asetat dan gas H<sub>2</sub>. Sementara itu, proses *metanogenesis* terjadi pada digester tahap II. Pada proses *methanogenesis*, senyawa-senyawa yang dihasilkan dari proses *asetogenesis* dirubah menjadi gas metana oleh bakteri *methanogenik*. Oleh karena itu, volume gas metan yang terukur pada digester tahap I lebih rendah dibandingkan gas yang dihasilkan pada digester tahap II.

**Pada Berbagai Kombinasi Substrat.** Produksi gas kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> pada digester tahap I (D1) menghasilkan biogas sebanyak 4 liter. Waktu fermentasi berpengaruh nyata terhadap produksi gas. Volume gas selama 40 hari fermentasi mengalami peningkatan. Digester tahap II menghasilkan biogas sebanyak 7,35 liter. Volume gas meningkat dengan bertambahnya waktu fermentasi. Semakin panjang waktu fermentasi maka semakin meningkat aktivitas mikroorganisme untuk menggunakan substrat sehingga hal ini akan mempengaruhi produk yang dihasilkan (Suryani, 2013). Produksi biogas pada D2 mencapai puncak pada hari ke-23 (0,28 liter) dan pada hari ke-33 (0,63 liter). Ini dikarenakan adanya penggunaan substrat yang optimal oleh mikroorganisme sehingga biogas diproduksi secara maksimal. Sementara itu, pada digester D1, produksi biogas juga mencapai puncak pada hari ke-23 dan ke-33, masing-masing sebesar 0,3 L. Produksi biogas baik pada D1 maupun D2 dalam rentang waktu fermentasi antara hari ke-23 hingga hari ke-25 mengalami penurunan dan kemudian mulai meningkat kembali. Ini memperlihatkan bahwa mikroorganisme tidak bekerja maksimal dalam merombak substrat. Produksi biogas setelah hari ke-33 mengalami penurunan dan kemudian meningkat kembali. Hal ini mengindikasikan bahwa substrat belum sepenuhnya dirombak. Gambar 1 memperlihatkan bahwa waktu fermentasi dapat diperpanjang hingga tidak cukup

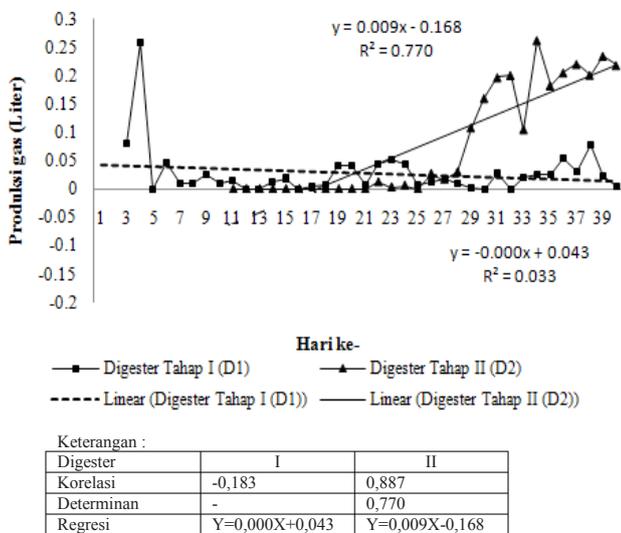


Gambar 1. Produksi biogas kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> pada D1 dan D2

tersedia substrat dalam digester sehingga grafik produksi biogas setelah hari ke-33 akan mengalami penurunan dan akhirnya tidak terjadi pembentukan biogas. Dengan demikian, total volume biogas yang dihasilkan akan lebih banyak dari yang diperoleh pada penelitian ini. Menurut Suryani (2013), pada waktu fermentasi yang panjang akan semakin sedikit biogas yang diproduksi akibat berkurangnya substrat yang merupakan nutrisi bagi mikroorganismenya. Gambar 1 menunjukkan peningkatan produksi gas pada D1 dan pada D2.

Selanjutnya kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> pada D1 menghasilkan biogas sebanyak 1,08 liter. Waktu fermentasi tidak berpengaruh nyata terhadap produksi gas, sehingga tren produksi gas selama waktu fermentasi tidak bisa ditentukan. D2 menghasilkan biogas sebesar 2,39 liter dan waktu fermentasi pada D2 berpengaruh nyata terhadap produksi gas, dengan tren peningkatan produksi gas selama 40 hari waktu fermentasi.

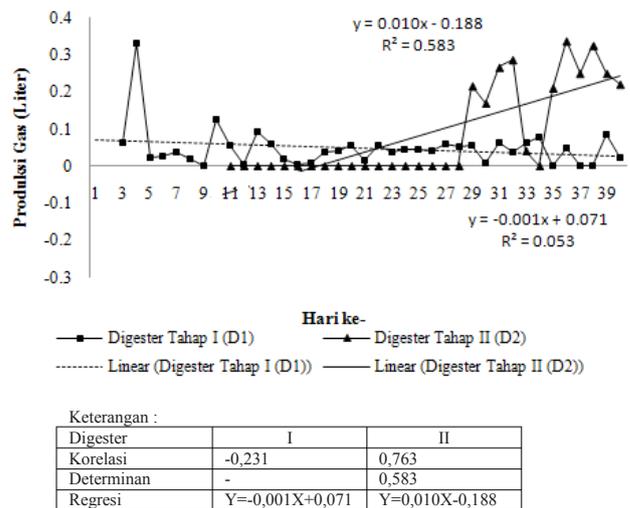
Produksi gas pada D1 mencapai puncaknya pada hari ke-4 (0,26 liter) dan pada hari ke-34 (0,26 liter) untuk D2. Hal ini mengindikasikan bahwa substrat secara maksimal diubah sepenuhnya menjadi biogas. Gambar 2 memperlihatkan bahwa waktu fermentasi biogas dapat diperpanjang hingga tidak cukup tersedia substrat dalam digester sehingga grafik produksi biogas setelah hari ke-34 akan mengalami penurunan dan akhirnya tidak ada pembentukan biogas. Gambar 2 menunjukkan produksi biogas pada kombinasi substrat 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>.



Gambar 2. Produksi biogas kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> pada D1 dan D2

Pada kombinasi 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub>, D1 menghasilkan biogas sebanyak 1,77 liter. Waktu fermentasi tidak berpengaruh nyata terhadap produksi gas, sehingga tren produksi gas selama waktu fermentasi tidak bisa ditentukan. Pada D2 menghasilkan biogas sebanyak 2,57 liter. Waktu fermentasi berpengaruh

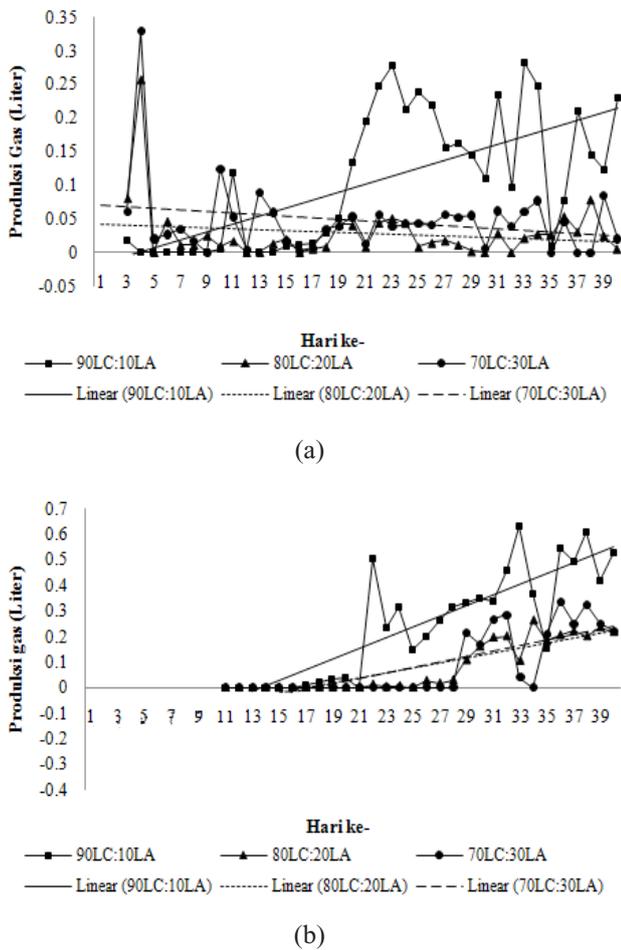
nyata terhadap produksi gas, dengan tren peningkatan selama 40 hari waktu fermentasi. Produksi gas pada D1 mencapai puncaknya pada hari ke-4 sebesar 0,33 liter dan pada hari ke-36 sebesar 0,34 liter untuk D2. Hal ini mengindikasikan bahwa substrat secara maksimal diubah sepenuhnya menjadi biogas. Gambar 3 memperlihatkan bahwa waktu fermentasi biogas dapat diperpanjang hingga tidak cukup tersedia substrat dalam digester sehingga grafik produksi biogas setelah hari ke-36 akan mengalami penurunan dan akhirnya tidak terjadi pembentukan biogas. Gambar 3 menunjukkan produksi biogas pada kombinasi substrat 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub>.



Gambar 3. Produksi biogas kombinasi 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> pada D1 dan D2

Pada berbagai kombinasi substrat terlihat bahwa digester D2 menghasilkan gas lebih tinggi dibandingkan pada digester D1 dan menunjukkan tren peningkatan setiap harinya. Hal ini menunjukkan bahwa waktu fermentasi pada D2 mempunyai korelasi positif terhadap produksi gas dan dapat dijelaskan melalui garis regresi. Ini diakibatkan pada digester D2 reaksi yang terjadi adalah metanogenesis. Menurut Demirel dan Yenigun (2002), pada reaktor dua-tahap, pada digester pertama terjadi asidogenesis dan diikuti oleh tahap panjang metanogenesis pada digester kedua. Pada reaksi metanogenesis, bakteri metanogen memproduksi biogas dari asam asetat, hidrogen, dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari reaksi sebelumnya. Sedangkan pada D1 garis regresi hanya dapat diterima pada perlakuan kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>.

**Produksi biogas pada digester tahap I dan digester tahap II.** Jika dilihat pada kedua digester, kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> menghasilkan gas lebih tinggi dibandingkan kombinasi lainnya dan menunjukkan tren peningkatan pada D1 dan D2, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Produksi biogas pada : (a) D1 kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, dan 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> (b) D2 kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, dan 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub>

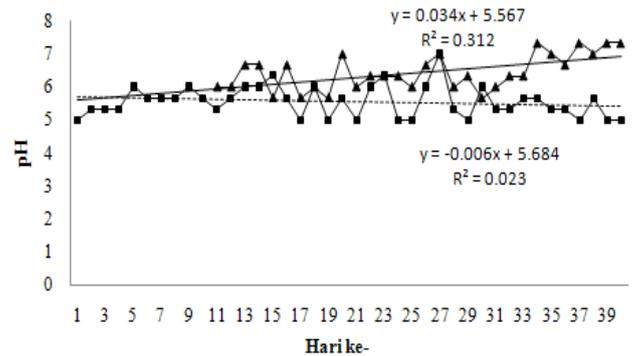
Kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> menghasilkan gas lebih tinggi, karena mempunyai imbang C/N paling optimum sebesar 22,26. Menurut Simamora dkk. (2006), imbang C/N yang optimum bagi mikroorganisme perombak adalah 20-25. Perbandingan C/N yang seimbang akan menghasilkan biogas dengan CH<sub>4</sub> tinggi, CO<sub>2</sub> sedang, H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> rendah (Fry, 1974). Rasio C/N yang tidak optimum dapat mengganggu proses pembentukan biogas, karena substrat yang mengandung C/N terlalu rendah akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH<sub>4</sub> rendah, CO<sub>2</sub> tinggi, H<sub>2</sub> rendah dan N<sub>2</sub> tinggi (Fry, 1974). Sementara itu, kandungan C/N yang terlalu tinggi mengindikasikan terlalu sedikit unsur nitrogen yang berakibat buruk bagi pertumbuhan mikroorganisme dan sintesis sel baru mikroorganisme, karena 16% sel bakteri terdiri dari unsur N (Deublein, 2008). Pada perbandingan C/N yang terlalu tinggi akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH<sub>4</sub> rendah, CO<sub>2</sub> tinggi, H<sub>2</sub> tinggi dan N<sub>2</sub> rendah (Fry, 1974).

Faktor lain yang mengakibatkan tingginya produksi gas pada kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> adalah rendahnya nilai TVS. TVS menandakan jumlah bahan organik dan kandungan air

dalam bahan. Menurut Gerardi (2003), TVS dalam substrat harus sesuai dengan kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi TVS menjadi *volatile fatty acid* (VFA) dan kemampuan dalam mengonsumsi VFA hingga menjadi biogas. Apabila kemampuan mikroorganisme tidak seimbang, akan terjadi penumpukan VFA yang menyebabkan penurunan pH secara drastis dan menghambat aktivitas bakteri pembentuk metana.

**Nilai pH**

**Pada berbagai kombinasi substrat.** Pada kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, pada digester D, waktu fermentasi tidak berpengaruh nyata terhadap pH, sehingga tren nilai pH tidak bisa ditentukan. Sedangkan pada digester D2, waktu berpengaruh nyata terhadap pH, dengan tren peningkatan nilai pH selama 40 hari waktu fermentasi. Grafik nilai pH selama 40 hari masa fermentasi dapat dilihat pada Gambar 5.



—■— Digester Tahap I (D1)      —▲— Digester Tahap II (D2)  
 ..... Linear (Digester Tahap I (D1))      — Linear (Digester Tahap II (D2))

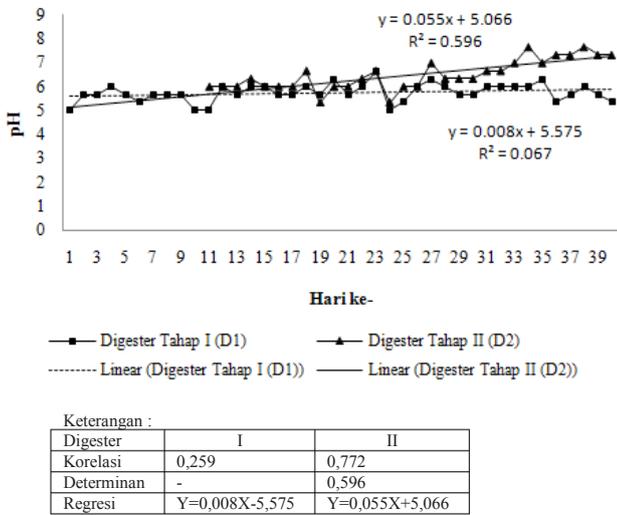
Keterangan :

Digester	I	II
Korelasi	-0,153	0,558
Determinan	-	0,312
Regresi	Y=-0,006X+5,684	Y=0,034X+5,567

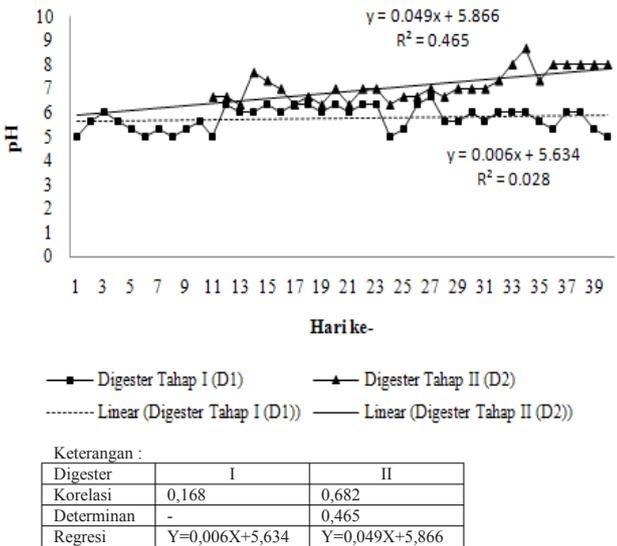
Gambar 5. Nilai pH kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> pada D1 dan D2

Pada kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, pada D1 waktu fermentasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pH. Sedangkan pada D2, waktu berpengaruh nyata terhadap nilai pH, dengan tren peningkatan nilai pH selama 40 hari waktu fermentasi. Gambar 6 menunjukkan nilai pH selama 40 hari masa fermentasi.

Pada kombinasi 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub>, pada D1 waktu fermentasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pH. Sedangkan pada D2, waktu berpengaruh nyata terhadap nilai pH dengan tren peningkatan nilai pH. Gambar 7 menggambarkan nilai pH selama 40 hari masa fermentasi.



Gambar 6. Nilai pH kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> pada D1 dan D2



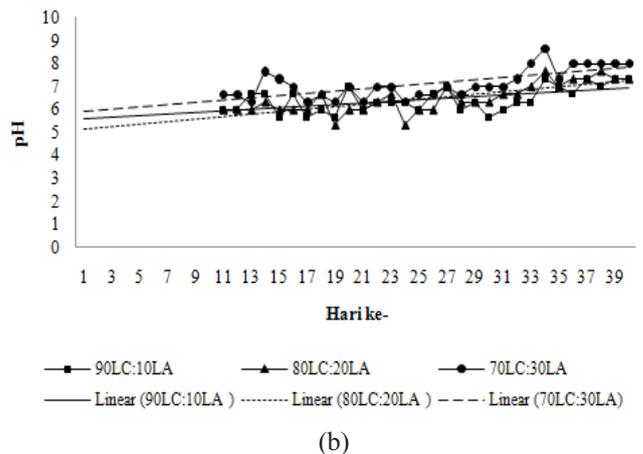
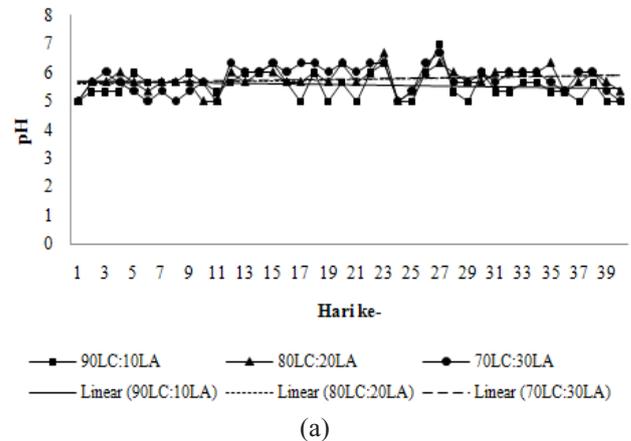
Gambar 7. Nilai pH kombinasi 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> pada D1 dan D2

Nilai pH seluruh kombinasi limbah cair dan lumpur aktif pada digester D2 berada pada rentang 5,33-8,67 dan meningkat di setiap perlakuan. Nilai pH pada digester D1 berada diantara rentang 5,00-6,67. Ini menunjukkan bahwa waktu fermentasi pada D2 mempunyai korelasi positif terhadap nilai pH dan dapat dijelaskan melalui garis regresi. Sedangkan garis regresi tidak dapat diterima pada seluruh kombinasi pada D1.

Pada awal reaksi fermentasi anaerobik, nilai pH akan menurun seiring produksi VFA. Penurunan pH menunjukkan terjadinya proses asidifikasi. Menurut Carneiro dkk. (2008), asidifikasi ditunjukkan dengan tingginya konsentrasi asam karena terjadi proses perubahan produk hasil hidrolisis menjadi asam-asam lemak yang mudah menguap seperti

asetat, propionat dan butirat. Pada tahap metanogenesis, bakteri pembentuk metan akan mengkonsumsi VFA sehingga alkalinitas meningkat yang berakibat pada kenaikan pH hingga tercapainya pH yang stabil (Gerardi, 2003). Pembentukan VFA banyak terjadi pada digester D1 dimana pada tahap ini terjadi proses asidogenesis dan asetogenesis membentuk asam lemak rantai pendek. VFA yang diproduksi pada tahap I kemudian akan dikonsumsi oleh bakteri pembentuk metana pada digester D2. Oleh karena itu, pH pada D1 lebih rendah dibandingkan dengan pH pada D2.

**Pada digester tahap I dan digester tahap II.** Rentang nilai pH berturut-turut pada kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> dan 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> adalah 5,00-7,33; 5,00-7,67; dan 5,00-8,67 (Gambar 8). Nilai pH setiap harinya berfluktuasi karena pada masing-masing digester terdapat aktivitas produksi VFA oleh bakteri pembentuk asam dan konsumsi VFA oleh bakteri pembentuk metana. Jumlah VFA menentukan nilai pH setiap harinya. Nilai pH kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> berada pada rentang terendah dibandingkan dengan nilai pH kombinasi lainnya sehingga juga berpengaruh terhadap rendahnya produksi

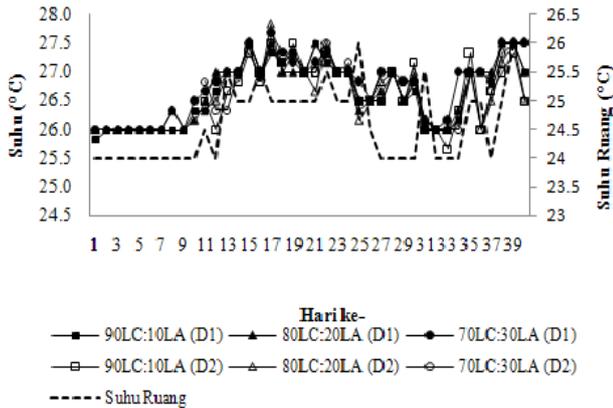


Gambar 8. Nilai pH pada : (a) D1 kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, dan

biogas pada kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>. VFA dipengaruhi oleh TVS yang terkandung di dalam substrat. TVS yang tinggi menyebabkan tingginya VFA yang terbentuk. Apabila terjadi ketidakseimbangan dalam produksi VFA dan konsumsi VFA, nilai pH akan semakin menurun dan menghambat aktivitas bakteri pembentuk metana dalam memproduksi biogas.

**Suhu**

Selain pH, faktor lingkungan lainnya yang berpengaruh terhadap produksi gas adalah suhu. Rentang suhu pada kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> pada D1; 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> pada D2; 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> pada RD; 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> pada D2; 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> pada D1; dan 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> pada D2 berturut-turut adalah 25,8-27,8°C; 25,7-27,3°C; 26,0-27,5°C; 26,2-27,8°C; 26,0-27,5°C; dan 26,2-27,5°C. Suhu dalam penelitian ini adalah kondisi mesofilik, yaitu berkisar antara 25,7-27,8°C, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Suhu digester

Nilai suhu yang digunakan pada penelitian ini mengalami fluktuasi mengikuti perubahan suhu lingkungan dan lebih tinggi ± 2°C dari suhu lingkungan. Pada proses fermentasi anaerobik, reaksi yang terjadi selama degradasi bahan organik tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap peningkatan suhu digester, karena energi yang dihasilkan oleh fermentasi anaerobik sangat kecil (Gerardi, 2003). Oleh karena itu, perubahan suhu lebih dominan dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan.

**KESIMPULAN**

Waktu fermentasi pada kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> pada digester tahap I dan digester tahap II, kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub> pada digester tahap II, dan kombinasi 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> pada digester tahap II memberikan pengaruh yang nyata terhadap produksi gas, dengan tren peningkatan produksi gas selama 40 hari waktu fermentasi melalui model garis regresi linear. Waktu

fermentasi pada digester tahap II untuk kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub>, 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, dan 70<sub>LC</sub>:30<sub>LA</sub> memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai pH, dengan tren peningkatan nilai pH selama 40 hari waktu fermentasi melalui model garis regresi linear. Selama 40 hari waktu fermentasi didapatkan volume biogas tertinggi pada kombinasi 90<sub>LC</sub>:10<sub>LA</sub> sebesar 11,35 liter dengan produksi biogas pada digester tahap II lebih tinggi dibandingkan digester tahap I pada seluruh kombinasi. Produksi biogas pada digester tahap II mengalami tren peningkatan dengan prosentase peningkatan produksi biogas dibandingkan digester tahap I tertinggi pada kombinasi 80<sub>LC</sub>:20<sub>LA</sub>, sebesar 121,29 %.

**DAFTAR PUSTAKA**

APHA, AWWA, dan WEF. (2005). *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*; 20<sup>th</sup> Edition. Victor Graphics, Inc, Baltimore.

Balsam, J. (2002). Anaerobic digestion of animal wastes: Factors to consider. ATTRA-national sustainable agriculture information service. *Dalam*: Budiyo, Widiya, I.N., Johari, S. dan Sunarso. The influence of total solid contents on biogas yield from cattle manure using rumen fluid inoculum. *Energy Research Journal* 1: 6-11.

Baserja, U. (1984). Biogas production from cowdung: Influence of time and fresh liquid manure. *Dalam*: Budiyo, Widiya, I.N., Johari, S. dan Sunarso. The influence of total solid contents on biogas yield from cattle manure using rumen fluid inoculum. *Energy Research Journal* 1: 6-11.

Boe, K. (2006). *Online Monitoring and Control of The Biogas Process*. Ph.D. Thesis. Technical University of Denmark 221 p.

Carneiro, T.F., Pe´rez, M. dan Romero, L.I. (2008). Anaerobic digestion of municipal solid wastes: Dry thermophilic performance. *Bioresource Technology* 99: 8180-8184.

Demirel, B. dan Yenigun, O. (2002). Two-phase anaerobic digestion process: a review. *Journal of Chemical, Technology, and Biotechnology* 77: 743-755.

Deublein, D. dan Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA. Weinheim.

Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian-Departemen Pertanian. (2006). Pedoman pengelolaan limbah industri kelapa sawit. [http:// p.php.deptan.go.id/xplore/view.php?file/B30lahlimbahkelapasawit.pdf](http://p.php.deptan.go.id/xplore/view.php?file/B30lahlimbahkelapasawit.pdf). [17 Maret 2008].

- Fry, L.J. (1974). *Practical Building of Methane Power Plants for Rural Energy Independence*. Standard Printing Santa Barbara, California.
- Gerardi, M.H. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. Hoboken.
- Gijzen, H.J. (1987). *Anaerobic Digestion of Cellulostic Waste by Rumen-Derived Process*. Den Haag: Koninklijke Bibliotheek.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Halomoan, A.T., Pattiwiri, A.W. dan Hendroko, R. (2007). *Teknologi Bioenergi*. Penerbit Agromedia, Jakarta.
- Hassan, M.A., Yacob, S., Shirai, Y. dan Hung, Y.T. (2004). Treatment of Palm Oil Wastewaters. *Dalam: Wang, L.K., Hung, Y.T., Lo, H.H. dan Yapijakis, C. (ed). Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*, hal 719-735. Marcel Dekker, New York.
- Mahajoeno, E. (2008). *Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit*. Disertasi. Bogor: Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.
- Manurung, R. (2004). Proses anaerobik sebagai alternatif untuk mengolah limbah sawit. artikel. <http://library.usu.ac.id/download/ft/tkimia-renita.pdf>. [10 Agustus 2010].
- Naibaho, P.M. (1999). Aplikasi biologi dalam pembangunan industri berwawasan lingkungan. *Jurnal Visi* 7: 112-126.
- Sadaka, S.S. dan Engler, C.R. (2003). Effect of initial total solids on composting of raw manure with biogas recovery. *Dalam: Budiyo, Widiyasa, I.N., Johari, S. dan Sunarso. The influence of total solid contents on biogas yield from cattle manure using rumen fluid inoculum. Energy Research Journal* 1: 6-11.
- Suryani, Y. (2013). Optimizing the volume of starter and the time of fermentation in the production of biogas from vegetable wastes with maximum content of methane gas. *Journal of Asian Scientific Research* 12: 789-797.
- Simamora, S., Salundik, D., Wahyuni, S. dan Surajudin (2006). *Membuat Biogas: Pengganti Bahan Bakar Minyak dan Gas dari Feses Ternak*. Agromedia, Jakarta.
- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Jahim, M.D. dan Anuar, N. (2007). Palm oil mill effluent (POME) treatment and biosources recovery using ultrafiltration membrane: effect of pressure on membrane fouling. *Journal of Biochemical Engineering* 35: 309-317.
- Yani, M. dan Darwis, A.A. (1990). *Diktat Teknologi Biogas*. Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Zinatizadeh, A.A.L., Mohamed, A.R., Mashitah, M.D., Abdullahmm, A.Z. dan Najidfour, G.D. (2006). Effect of physical and pretreatment on pome digestion in an upflow anaerobic sludge fixed film bedreactor. <http://www.omicron.ch.tulasigov/eemj.docs/145.pdf>. [17 Maret 2008].