



Buku Prosiding **SEMINAR NASIONAL PERTETA**

“Peran Keteknikan Pertanian dalam Mendukung Ketahanan Pangan dan Energi yang Berwawasan Lingkungan”

Malang, 30 November – 2 Desember 2012



Kerjasama antara:



Prosiding Seminar Nasional Perteta UB 2012

ISBN : 978-602-17199-0-9

© 2012 Panitia Seminar Nasional Perteta UB 2012

Penyusun : Panitia Seminar Nasional Perteta UB 2012

Penerbit :

Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya

Jl Veteran, Malang 65145

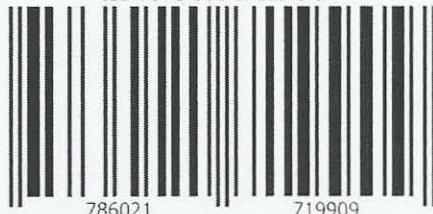
Telp. (0341) 571708, Fax. (0341) 568415

e-mail : perteta2012@ub.ac.id

website : <http://perteta2012.ub.ac.id/>

Buku ini dilindungi oleh Undang-Undang Hak Cipta

ISBN 978-602-17199-0-9



9

786021

719909

Tim Penyunting

Yusuf Hendrawan, STP, M.App.Life.Sc, Ph.D

Dimas Firmanda Al Riza, ST, M.Sc

Shinta Rosalia Dewi, S.Si, M.Sc

Yusron Sugiarto, STP, MP, M.Sc

Ubaidillah, STP

Danial Fatchurrahman, STP

SAL-22

**Biooksidasi Parsial pada Penanganan Anaerobik
Limbah Biomasa Pertanian**

*Partial Biooxidation on Anaerobic Treatment of
Agricultural Biomass*

Muhammad Romli*, Suprihatin dan Purwoko
Dept. Teknologi Industri Pertanian IPB, Gd. Fateta Lt.2, Darmaga, Bogor, 16680

*Penulis Korespondensi, Email: mromli@hotmail.com

ABSTRAK

Limbah padat biomasa pertanian dan agroindustri mengandung bahan organik yang sangat tinggi. Penerapan teknologi anaerobik selain mampu mengatasi permasalahan lingkungan, juga menjadi teknologi pilihan untuk mengkonversi limbah menjadi produk yang bernilai, yaitu biogas sebagai energi ramah lingkungan, digestat untuk memperbaiki struktur tanah, dan lindi sebagai pupuk cair. Namun, pemanfaatan biomasa pertanian terkendala dengan rendahnya laju hidrolisis bahan lignoselulosa yang merupakan tahap pertama dalam rangkaian degradasi secara anaerobik. Beberapa metode pra-perlakuan bahan secara fisiko kimia dan biologis dapat memperbaiki karakteristik bahan sehingga memperbaiki laju konversi anaerobik secara keseluruhan. Pada penelitian ini pra-perlakuan bioooksidasi parsial dengan inokulum *Aspergillus niger* pada onggok dan campuran mikroorganisme pada jerami dan sayuran dievaluasi efektivitasnya terhadap kinerja digester anaerobik skala 1 L dan 20 L. Pada biomasa onggok dan jerami bioooksidasi parsial selama 7 hari pada suhu ruang menghasilkan kinerja digester anaerobik yang lebih baik, ditunjukkan dengan produksi biogas yang lebih tinggi, yaitu 35% pada onggok dan 25% pada jerami. Pada sayuran bioooksidasi selama 2 hari menurunkan kandungan VS biomasa yang cukup signifikan, sehingga menyebabkan turunnya produksi biogas hingga 39%.

Kata kunci: Pra-perlakuan, lignoselulosa, hidrolisis, digester, biogas

ABSTRACT

Residual biomass from agricultural and agroindustrial activities has very high content of organics. The application of anaerobic treatment technology will not only solve the environmental problems associated with the biomass disposal, but also a means of recovering the valuable materials, in the forms of biogas as environmental friendly energy, digestate as soil improver, and lindi as liquid fertilizer. However, the use of agricultural biomass is constrained by the low rate of lignocellulosic hydrolysis, being the first step in the overall mechanisms of anaerobic degradation. Some material pre-treatment techniques, physico-chemical and biological, have been reported to improve material characteristics and thus enhancing the overall anaerobic conversion process. In this work, the effectiveness of material pre-treatment in the form of partial biooxidation on onggok (residual fibrous cake of tapioca processing) inoculated with *Aspergillus niger* and on paddy straw and vegetable biomass both inoculated with mixed-culture microorganisms is evaluated against the performance of 1 L and 20 L anaerobic digesters. With onggok and paddy straw biomass, partial biooxidation for 7 days at ambient temperature resulted in improved digester performance indicated by higher biogas production of 35% and 25%, respectively. With vegetable biomass, biooxidation for 2 days led to significant loss of VS, and therefore decreased the biogas production by 39%.

Keywords: pre-treatment, lignocellulose, hydrolysis, digester, biogas

PENDAHULUAN

Residu biomasa pertanian dan agroindustri memiliki kandungan bahan organik yang sangat tinggi. Penerapan teknologi anaerobik selain mengurangi jumlah bahan organik yang terurai secara tidak terkendali di alam, yang berkontribusi pada produksi rumah kaca, juga menjadi teknologi pilihan untuk mengkonversi limbah menjadi produk yang bernilai, yaitu biogas sebagai energi ramah lingkungan, digestat untuk perbaikan struktur tanah, dan lindi yang bermanfaat sebagai pupuk cair. Jerami padi sebagai ilustrasi, belum banyak dimanfaatkan. Produksi jerami kurang lebih 1.5 ton dari hasil panen (Kim and Dal, 2004). Jika rata-rata produktivitas padi nasional adalah 4 ton/Ha, maka dengan luas sawah 15 juta Ha akan ada potensi jerami padi sekitar 60 juta ton. Potensi limbah padat yang sangat besar juga tersedia dari sampah sayuran dan buah-buahan dan limbah agroindustri, misalnya bagas, onggok, tongkol jagung, limbah pengalengan buah, dan tandan kosong kelapa sawit. Tabel-tabel 1 dan 2 menyajikan karakteristik beberapa jenis limbah biomasa pertanian. Bahan organik ini setelah dihidrolisis menjadi senyawa sederhana dapat difermentasi menjadi metana.

Tabel 1. Karakteristik biomasa limbah pertanian (Romli, *et al.*, 2010)

Jenis Biomasa	Kadar Abu (%)	Kadar Air (%)	Padatan total (%)	Padatan organik (% w.b)	(% d.b)
Jerami	18.3	21.0	79.0	60.7	76.8
Kulit pisang	1.90	87.61	12.39	10.49	84.67
Kol	0.48	93.00	7.00	6.52	93.16
Sampah Pasar-1	2.23	82.57	17.43	15.2	87.21
Sampah Pasar-2	0.83	94.05	5.95	5.12	86.05
Kulit nenas	0.66	86.61	13.39	12.73	95.07
Limbah buah & sayuran (Biswas <i>et al.</i> , 2007)	0.98	89.24	10.76	9.78	90.89

Tabel 2. Kandungan lignoselulosa biomasa limbah pertanian (Sun and Cheng, 2002)

Jenis Limbah	% d.b.		
	Lignin	Hemiselulosa	Selulosa
Bagas	25.0	25.0	50.0
Tongkol Jagung	15.0	35.0	45.0
Jerami	15.0	50.0	30.0
Tandan Kosong Kelapa Sawit	32.5	33.8	46.5
Onggok	25.0	25.0	45.0

Degradasi anaerobik bahan organik terdiri dari proses hidrolisis, asidogenesis, asetatogenesis dan metanogenesis. Untuk bahan organik terlarut proses metanogenesis merupakan tahap pembatas laju degradasi secara keseluruhan. Sebaliknya pada limbah organik kompleks, terutama limbah padat dan partikulat, proses hidrolisis merupakan tahap pembatas laju degradasi (Delgenes *et al.*, 2003). Meskipun mengandung selulosa yang tinggi, tetapi struktur bahan dengan lapisan lignin yang terikat dengan selulosa dan hemiselulosa menghalangi aktivitas mikroba untuk menguraikannya (Phutela *et al.*, 2011). Oleh karena itu, peningkatan aksesibilitas substrat dan laju hidrolisis bahan lignoselulosa melalui pra-perlakuan bahan menjadi faktor kunci untuk meningkatkan

anaerobik. Pra-perlakuan bahan baik secara fisik, kimia maupun biologi digunakan untuk memudahkan mikroba dan enzim mengakses selulosa (Sun and Wang, 2002; Demirbas, 2007). Metode yang telah banyak digunakan adalah perlakuan asam dan alkali encer (Del Campo, 2006; Nieves *et al.*, 2011), tetapi teknik ini cenderung menghasilkan produk samping seperti furfural atau hidroksi metal furfural (HMF) yang dapat menghambat proses metanogenesis, disamping menghasilkan asam dan basa. Perlakuan secara kimia atau perlakuan fisik (pengecilan ukuran) yang dikombinasikan dengan perlakuan termal memberikan hasil positif dalam konteks hasil hidrolisis dan produksi biogas (Xie *et al.*, 2011; Menardo *et al.*, 2012), tetapi metode ini membutuhkan input energi cukup tinggi. Metode secara biologis memiliki kelebihan, diantaranya kebutuhan energinya rendah, peralatan sederhana dan biaya rendah (Saratale *et al.*, 2008; Zhong *et al.*, 2011). Kekurangannya adalah waktu proses yang diperlukan relatif lama. Beragamnya bahan lignoselulosa membuat tidak adanya metode pra-perlakuan yang berlaku secara umum.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pra-perlakuan biooksidasi parsial pada limbah pertanian dan agroindustri dengan pemberian inokulum *Aspergillus niger* pada jerami dan campuran berbagai mikroorganisme pada jerami dan sayuran. Beberapa digester anaerobik dengan skala 1 L dan 20 L digunakan untuk membandingkan kinerja proses degradasi antara limbah biomassa yang diberi perlakuan dan yang tanpa perlakuan melalui pengukuran biogas yang diproduksi.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Untuk penelitian ini model limbah biomassa yang digunakan adalah fraksi kasar ongkok industri pengolahan tapioka, jerami padi, dan sayuran yang berasal dari daerah sekitar. Biooksidasi parsial terhadap biomassa jerami dan sayuran dilakukan dengan menambahkan inokulum mikroorganisme berupa kultur campuran berbagai jenis bakteri, dan kapang, yaitu *Saccharomyces sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Streptomyces sp.*, dan *Aspergillus sp.* Biooksidasi terhadap biomassa ongkok dilakukan dengan menambahkan inokulum *Aspergillus niger*.

Beberapa digester anaerobik skala 1 L terbuat dari gelas digunakan untuk mengevaluasi pengaruh pra-perlakuan biooksidasi parsial jerami dan sayuran, dan digester 20 L yang terbuat dari fiberglass digunakan untuk ongkok. Digester-digester ini dilengkapi dengan inlet untuk umpan dan outlet untuk pengambilan digestat dan penampung serta pengukur gas. Pengaturan suhu digester dan pengadukan dilakukan dengan menggunakan *shaker water bath* untuk digester skala 1 L, sedangkan digester 20 L beroperasi tanpa pengadukan dan pengaturan suhu.

Perlakuan biooksidasi parsial biomassa. Pengecilan ukuran bahan dilakukan dengan mencacah jerami dan sayuran dengan ukuran sekitar 0.5-1 cm. Pengecilan ukuran berpengaruh terhadap aksesibilitas bahan baik selama pra-perlakuan biooksidasi maupun dalam digester (Frigon *et al.* 2012; Menardo *et al.*, 2012). Pra-perlakuan biooksidasi bahan biomassa dilakukan dengan menambahkan inokulum campuran mikroorganisme pada konsentrasi 16 ml inokulum/100 g TS dan diinkubasi dalam wadah komposter selama 7 hari untuk jerami dan 2 hari untuk sayuran pada suhu ruang. Pada biomassa ongkok tidak dilakukan pengecilan ukuran dan pra-perlakuan biooksidasi dilakukan dengan menambahkan inokulum *Aspergillus niger*. Inokulum disiapkan dengan cara membuat suspensi biakan *A. niger* dalam agar miring dengan 10 tabung dan menginokulasikannya pada 5 kg ongkok pada 30% TS dalam wadah komposter dengan ketebalan 5 cm dan diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang.

Parameter TS (total solids) dan VS (volatile solids) ditentukan pada awal dan akhir proses biooksidasi.

Kinerja Digester Anaerobik.

Pengaruh pra-perlakuan bahan terhadap peningkatan biodegradabilitas biomassa dievaluasi dengan membandingkan kinerja digester yang diberi umpan bahan biomassa yang telah mengalami pra-perlakuan dan tanpa pra-perlakuan. Digester dioperasikan pada nilai TS awal umpan 10-12% dengan menggunakan inokulum bakteri anaerobik dari kotoran sapi sebesar 10% dari total volume kerja digester. Media diatur komposisi makro dan mikro nutriennya dengan menambahkan urea, KH_2PO_4 , dan larutan elemen kelumit. Komposisi larutan elemen kelumit disajikan pada Tabel 3. Beberapa parameter kinerja digester dimonitor, antara lain produksi gas harian, kadar TS dan VS. Analisis laboratorium parameter-parameter tersebut dilakukan dengan mengacu pada prosedur standar APHA (2005).

Tabel 3. Komposisi larutan stok elemen kelumit

No.	Elemen	Konsentrasi (mg/L)
1	Co^{2+} (CoCl_2)	200
2	Mo^{2+} (MoCl_2)	500
3	Ni^{2+} (NiCl_2)	1000
4	Fe^{3+} (FeCl_3)	10000
5 ml larutan stok/liter media		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik biomasa

Karakteristik biomasa segar yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 4. Nilai VS menunjukkan proporsi bahan organik yang dapat dikonversi secara anaerobik menjadi biogas. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa hampir seluruh padatan organik merupakan fraksi yang dapat didegradasi, untuk sayuran dan jerami sekitar 80%. Karakteristik tersebut bersesuaian dengan hasil analisis yang telah dilaporkan sebelumnya (Romli *et al.*, 2010; Biswas *et al.*, 2007). Analisis proksimat dan komposisi lignoselulosa pada onggok disajikan pada Tabel 5. Perbedaan komposisi lignoselulosa dengan nilai yang dilaporkan oleh Sun and Cheng (2002) sebagaimana disajikan pada Tabel 2 dapat disebabkan oleh perbedaan jenis singkong, jenis fraksi onggok, ataupun proses pengolahannya.

Tabel 4. Karakteristik biomasa segar

Biomasa Segar	% TS	% VS	VS/TS
Onggok	90.1 ± 0.2	89.2 ± 0.1	0.99
Jerami	92.6 ± 0.4	76.1 ± 0.2	0.82
Sayuran	10.7 ± 0.9	8.7 ± 0.8	0.81

...sifikasi parsial biom...
 ...ntikan biooksid...
 ...struktur lig...
 ...anaerobik...
 ...hilangnya...
 ...biooksidasi par...
 ...onggok sel...
 ...signifikan menur...
 ...campuran mi...
 ...penurunan

Tabel 6

Onggok
 Jerami
 Sayuran

...digester...
 ...pra-perlakuan...
 ...kinerja digester...
 ...digester yang diba...
 ...selang TS 10-...
 ...substrat (Va...
 ...jenis biomas...
 ...anmati. Ini meng...
 ...10% (vol.) cuk...
 ...Konsorsium l...
 ...substrat terse...

Tabel 5. Karakteristik onggok

Komponen	Nilai (%)
Air	7
Total Solids (TS)	93
Protein	0.42
Lemak	1.17
Karbohidrat	68.93
Abu	1.44
Selulosa	64.03
Hemiselulosa	16.11
Lignin	17.53

Biooksidasi parsial biomasa

Biooksidasi parsial biomasa dimaksudkan untuk memperbaiki karakteristik struktur lignoselulosa sehingga biodegradabilitas bahan dalam proses fermentasi anaerobik dapat ditingkatkan. Namun demikian proses ini juga menyebabkan hilangnya sebagian karbon yang teroksidasi menjadi karbon dioksida. Pengaruh biooksidasi parsial bahan terhadap karakteristik biomasa disajikan pada Tabel 5. Biooksidasi onggok selama 7 hari dengan pemberian inokulum *Aspergillus niger* tidak secara signifikan menurunkan VS bahan. Biooksidasi jerami dan sayuran dengan medium campuran mikroorganisme masing-masing selama 7 dan 2 hari telah menyebabkan penurunan VS sebesar 6% dan 41%.

Tabel 6. Pengaruh biooksidasi parsial terhadap nilai VS

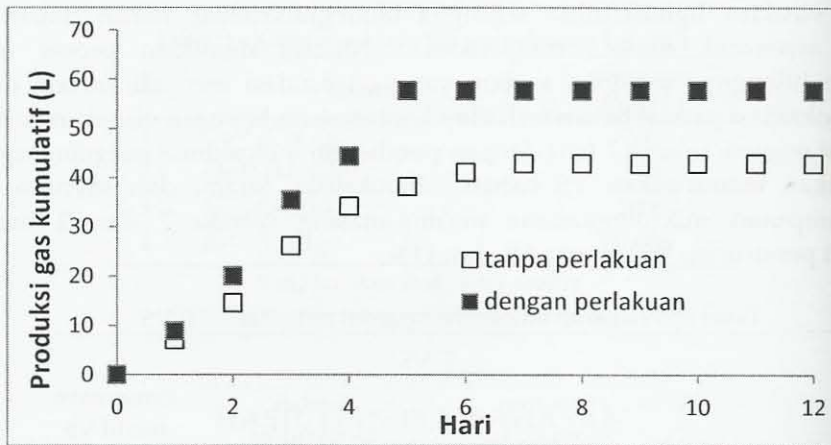
	% VS		% Penurunan relatif VS
	Sebelum biooksidasi	Setelah biooksidasi	
Onggok	31.1 ± 0.1	30.5 ± 0.4	2
Jerami	79.0 ± 0.3	74 ± 1	6
Sayuran	77 ± 1	69.4 ± 0.1	41

Biomasa digester

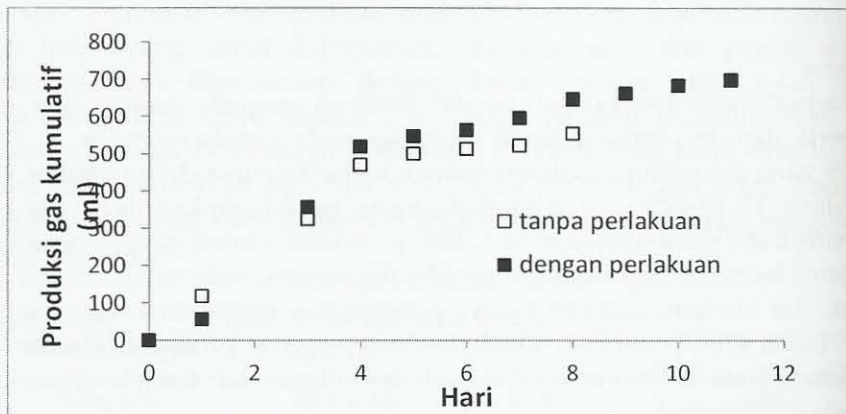
Pengaruh pra-perlakuan biooksidasi parsial biomasa onggok, jerami dan sayuran terhadap kinerja digester berturut-turut disajikan pada Gambar-gambar 2, 3 dan 4. Pada digester yang dibandingkan diberi umpan bahan biomasa dengan bobot TS yang sama pada selang TS 10-12%. Pada tingkat umpan ini diharapkan tidak ada kendala degradabilitas substrat (Vandevivere *et al.*, 2003). Secara umum pembentukan biogas dari semua jenis biomasa menunjukkan profil yang serupa, yaitu tidak adanya fase lag yang signifikan. Ini mengindikasikan bahwa penggunaan inokulum kotoran sapi pada umpan 10% (vol.) cukup efektif untuk berlangsungnya proses degradasi secara anaerobik. Konsorsium bakteri anaerobik pada inokulum telah teraklimatisasi dengan semua jenis substrat tersebut.



Gambar 1. Set up digester skala 1 L (kiri) dan 20 L (kanan)



Gambar 2. Pengaruh biooksidasi parsial onggok terhadap produksi gas

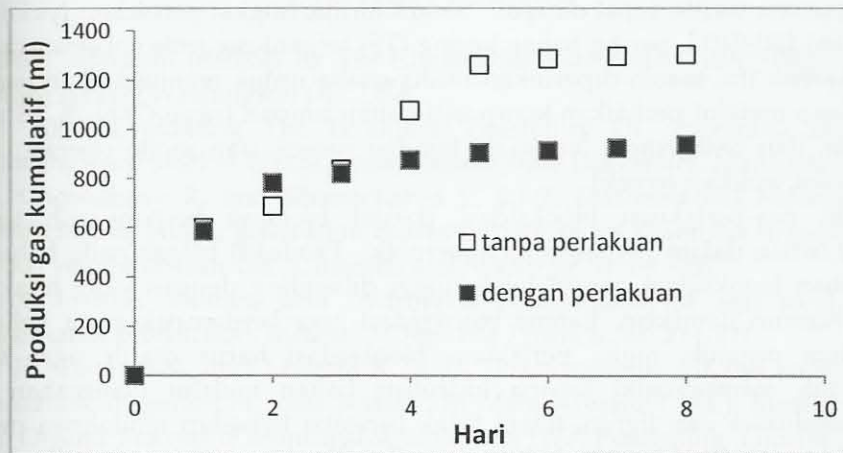


Gambar 3. Pengaruh biooksidasi parsial jerami terhadap produksi gas



Gambar 4. Per

... proses fermentasi ...
 ... bagaimana diperliha ...
 ... an tinggi dibanding ...
 ... ngg, sekitar 35% te ...
 ... banding dengan yan ...
 ... sampai produksi ga ...
 ... rnikuan dan 7 hari ...
 ... menunjukkan adanya ...
 ... rnikuan biooksidasi ...
 ... rnik rendah, yaitu 3 ...
 ... biooksidasi yang d ...
 ... bagaimana yang di ...
 ... biooksidasi dapat me ...
 ... proses fermentasi jera ...
 ... perhatikan pada G ...
 ... banding dengan jera ...
 ... rnik pada jera ...
 ... rnikuan telah meny ...
 ... rnik sebesar 40 L/l ...
 ... banding dengan kedu ...
 ... mengalami pra-perla ...
 ... memperhatikan proc ...
 ... produksi gas maksim ...
 ... banding dengan ya ...
 ... rnik biooksidasi ...
 ... rnik dan hal ini ...
 ... rnik digester. Ha ...
 ... rnikgradasi, misaln ...
 ... rnikkan.



Gambar 4. Pengaruh biooksidasi parsial sayuran terhadap produksi gas

... fermentasi onggok yang telah mengalami pra-perlakuan biooksidasi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2 memperlihatkan laju produksi biogas yang lebih tinggi dibanding dengan biomasa segar. Produksi gas maksimum yang lebih tinggi, sekitar 35% terlihat pada onggok yang mengalami pra-perlakuan biooksidasi dibanding dengan yang tanpa perlakuan. Demikian pula waktu yang diperlukan untuk mencapai produksi gas maksimum lebih singkat, yaitu 5 hari pada biomasa yang diberi perlakuan dan 7 hari pada biomasa yang tanpa perlakuan. Meskipun penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan produksi biogas dari biomasa yang diberi pra-perlakuan biooksidasi, perhitungan menunjukkan bahwa nilai *yield* biogas yang dicapai masih rendah, yaitu 30 L/kg VS. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat pra-perlakuan biooksidasi yang diterapkan belum cukup mengubah struktur lignoselulosa sebagaimana yang diharapkan. Rendahnya tingkat kehilangan VS pada perlakuan biooksidasi dapat menjadi indikasi untuk hal ini.

... fermentasi jerami yang telah mengalami pra-perlakuan biooksidasi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3 memperlihatkan laju produksi biogas yang lebih tinggi dibanding dengan jerami segar. Produksi gas maksimum yang lebih tinggi, sekitar 25%, diperoleh pada jerami yang mengalami pra-perlakuan biooksidasi, meskipun pra-perlakuan telah menyebabkan adanya kehilangan VS sebesar 6%. Nilai *yield* biogas yang dicapai sebesar 40 L/kg VS.

... berbeda dengan kedua jenis biomasa sebelumnya, proses fermentasi sayuran yang telah mengalami pra-perlakuan biooksidasi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4 memperlihatkan produksi biogas yang lebih rendah dibanding dengan sayuran segar. Produksi gas maksimum pada sayuran yang diberi pra-perlakuan 39% lebih rendah dibanding dengan yang tanpa perlakuan dengan nilai *yield* biogas sebesar 50 L/kg VS. Meskipun biooksidasi hanya berlangsung selama dua hari, kehilangan VS cukup signifikan dan hal inilah yang bertanggung jawab terhadap rendahnya produksi biogas yang digester. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk jenis biomasa yang mudah terdegradasi, misalnya sayuran, pra-perlakuan biooksidasi tidak efektif untuk diterapkan.

... biomasa berpengaruh signifikan pada produksi biogas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar-gambar 2, 3 dan 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi gas spesifik untuk ketiga jenis substrat yang diteliti berkisar antara 30-50 L/kg VS. Tingkat produksi gas spesifik ini masih relatif rendah dibandingkan dengan produksi biogas

spesifik yang secara teoritis dapat dicapai. Secara teoritis, tingkat perolehan (*yield*) biogas dapat mencapai 180-940 L per kg bahan kering (TS) tergantung jenis substratnya (Santoso, 2009). Oleh karena itu, masih diperlukan usaha-usaha untuk meningkatkan produksi biogas, misalnya melalui perbaikan komposisi bahan umpan (rasio C/N, % TS umpan, ukuran bahan, dan *co-digestion*), optimasi kondisi proses, dan mode operasi digester (*batch, intermitten*, aplikasi *recycle*).

Secara umum pra-perlakuan biooksidasi parsial biomasa berpengaruh terhadap *biodigestibility* bahan dalam penanganan anaerobik. Produksi biogas pada bahan yang diberi perlakuan biooksidasi parsial lebih tinggi dibanding dengan yang tidak diberi perlakuan. Namun demikian, karena biooksidasi juga berdampak pada kehilangan sebagian bahan organik, maka perlakuan biooksidasi harus diatur agar sesuai memadai untuk memperbaiki kinerja hidrolisis bahan melalui pemecahan ikatan selulosa, hemiselulosa dan lignin, tetapi tidak beresiko terhadap rendahnya produksi biogas akibat besarnya kehilangan bahan organik. Penelitian ini juga memperlihatkan bahwa untuk biomasa yang relatif mudah terdegradasi, biooksidasi parsial tidak efektif karena besarnya reduksi VS mengakibatkan menurunnya *yield* biogas secara keseluruhan. Selain optimasi terhadap tingkat biooksidasi parsial yang sebelumnya diterapkan, rendahnya *yield* biogas dari ketiga jenis biomasa mengindikasikan perlunya dilakukan optimasi proses dan kondisi operasi digester.

SIMPULAN

Analisis terhadap model biomasa menunjukkan bahwa pada onggok hampir seluruh padatnya merupakan fraksi yang dapat didegradasi, sedangkan pada sayuran dan jerami hanya sekitar 80%. Biooksidasi parsial onggok selama 7 hari dengan inokulum *Aspergillus niger* tidak menurunkan VS bahan secara signifikan. Biooksidasi jerami dan sayuran dengan inokulum campuran mikroorganisme masing-masing selama 7 dan 14 hari telah menyebabkan penurunan VS sebesar 6% dan 41%. Digester dengan onggok yang telah mengalami pra-perlakuan memperlihatkan laju produksi biogas yang lebih cepat dan produksi gas maksimum yang lebih tinggi, sekitar 35%, dibandingkan dengan onggok segar. Hasil yang serupa juga diamati untuk biomasa jerami yang memperlihatkan produksi gas yang lebih tinggi, sekitar 25%, pada bahan yang diberi perlakuan, meskipun terjadi kehilangan VS sebesar 6%. Berbeda dengan kedua jenis biomasa sebelumnya, produksi gas pada sayuran yang diberi perlakuan 39% lebih rendah dibanding dengan sayuran segar. Biooksidasi selama dua hari tidak menyebabkan kehilangan VS yang cukup signifikan yang berakibat pada rendahnya produksi biogas dalam digester. Ini menunjukkan bahwa untuk jenis biomasa yang mudah terdegradasi, misalnya sayuran, pra-perlakuan tidak diperlukan. Secara umum dapat disimpulkan bahwa biooksidasi parsial berperan dalam meningkatkan *biodigestibility* biomasa, tetapi upaya optimasi proses biooksidasi dan optimasi kondisi operasi dan proses digester masih perlu dilakukan untuk meningkatkan *yield* biogas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Hibah Kompetensi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Tahun 2012 yang telah mendukung pendanaan penelitian ini. Demikian pula terima kasih atas dukungan kerja para asisten lab Bilyan, Nuzul, dan Aulia.

USA, 2005. *Standar*
Office APH
M. 2009. *...*
Kawangwar
J. Chowdh
prediction o
food/vegeta
Campo I. 200
bioethanol p
J.P. Penar
anaerobic d
the Organic
A. 2007.
Energ. Sourc
J.C. Mehta P
pre-treatme
Biomass and
S and Dal BE.
crop residu
S, Airolid
treatment o
Technology.
DC, Karim
palm empty
UG, Sahn
enhancing b
M. Suprihat
sebagai bah
II, Bandung
GD, Chen
production
Sci Ind. Res.
and Cheng J
A review. J
P, De
solid waste
Municipal S
S. Frost JP, L
treatment o
Bioresource
W, Zhang
pretreatme
102: 11177-

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 2005. *Standard Methods for The Examination Water and Waste Water 21th edition*. Office APHA Washington DC. USA
- Amir M. 2009. Evaluating The Economic Feasibility Of Anaerobik Digestion Of Kawangware Market Waste. Tesis. Kansas State University, Manhattan
- Chowdhury R, and Bhattacharya P. 2007. Mathematical modeling for the prediction of biogas generation characteristic of an anaerobic digester based on food/vegetable residues. *J. Biomass and Bioenergy*. 31: 80 – 86.
- Campo I. 2006. Diluted acid hydrolysis pretreatment of agri food waste for bioethanol production. *Industrial Crops and Products*. 24: 214-221
- Chapuis JP, Penaud V, and Moletta R. 2003. 'Pretreatments for the enhancement of anaerobic digestion of solid wastes'. In Mata-Alvarez J (ed.). *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*, IWA Publishing, London, UK.
- Cherubini A. 2007. Products from lignocellulosic materials via degradation processes. *Energ. Source*. A 30 (1): 27-37
- Choudhary JC, Mehta P, and Guiot SR. 2012. Impact of mechanical, chemical and enzymatic pre-treatments on the methane yield from the anaerobic digestion of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*. 36: 1-11
- Choudhary S and Dal BE. 2004. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *J. Biomass and Bioenergy*. 26 (4): 361-375
- Choudhary S, Airoidi G, and Balsari P. 2012. The effect of particle size and thermal pretreatment on the methane yield of four agricultural by-products. *Bioresource Technology*. 104: 708-714
- Choudhary DC, Karimi K and Horváth IL. 2011. Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (OPEFB). *Industrial Crops and Products*. 34: 1097- 1101
- Choudhary UG, Sahni N, and Sood SS. 2011. Fungal degradation of paddy straw for enhancing biogas production. *Indian J. of Sci. and Tech*. 4(6): 660-665
- Choudhary M, Suprihatin, Indrasti NS, Angga YA. 2010. Potensi limbah biomasa pertanian sebagai bahan baku produksi bioenergi. *Prosiding Seminar Tjipto Utomo, B6-1-B6-II*, Bandung.
- Choudhary GD, Chen SD, Lo YC, Saratale SG and Chang JS. 2008. Outlook of biohydrogen production from lignocellulosic feedstock using dark fermentatation: A review. *J. Sci Ind. Res*. 67: 962-979
- Choudhary and Cheng J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic material for ethanol production: A review. *J. Bioresource Technology*. 83: 1-11.
- Choudhary P, De Baere L, and Verstraete W. 2003. 'Types of anaerobic digester for solid wastes'. In Mata-Alvarez J (ed.). *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*, IWA Publishing, London, UK.
- Choudhary S, Frost JP, Lawlor PG, Wu G, and Zhan. 2011. Effects of thermo-chemical pretreatment of grass silage on methane production by anaerobic digestion. *Bioresource Technology*. 102: 8748-8755
- Choudhary W, Zhang Z, Luo Y, Sun S, Qiao W, and Xiao M. 2011. Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production. *Bioresource Technology*. 102: 11177-11182