

PERLAKUAN AWAL JERAMI SORGUM SECARA BIOLOGIS DAN CO-DIGESTION DENGAN SLUDGE PADA PRODUKSI BIOGAS

BIOLOGICAL PRETREATMENT OF SORGHUM STRAW AND CO-DIGESTION WITH SLUDGE FOR BIOGAS PRODUCTION

Purwoko^{*}, Muhammad Romli, Suprihatin, Liesbetini Haditjaroko

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
Kampus IPB Dramaga, P.O.Box, 220, Bogor, Indonesia
E mail: p_purwoko@yahoo.com

Makalah: Diterima 17 Juni 2015; Diperbaiki 18 Agustus 2015; Disetujui 1 September 2015

ABSTRACT

Partial oxidation pretreatment on sorghum straw using a consortium of microorganisms EM4 was done before used as raw material for production of biogas. Biogas production was performed by co-digestion method using sludge of waste water treatment plant. This research aimed to study the effect of sorghum straw and sludge ratio to the production of biogas by co-digestion method. Partial hydrolysis pretreatment using concentrations of EM4 0.0, 0.1, 0.5, and 1.0%. Pretreatment parameter measured was chemical oxygen demand dissolved (COD). The result of sorghum straw pretreatment was used as raw material for biogas production. Co-digestion method of sorghum straw and sludge was carried out by ratio variation of 80:20, 75:25, 70:30, and 65:35 (w/w). Parameters measured were cumulative biogas production (L/kg VS) and the composition of the biogas (CH₄ and CO₂). Results of partial oxidation pretreatment showed that the higher concentration of EM4 affected in higher levels of dissolved COD. Biogas production results by this pretreatment showed that the higher concentrations of EM4, the shorter adaptation phase of anaerobic microorganisms and higher production of biogas. The highest biogas production by co-digestion method was 371 L/kgVS, achieved by ratio of sorghum straw to sludge of 75:25 (w/w) in 65 days of fermentation. By using co-digestion method, biogas production increased 245-293%. From the results of this research note that biogas production on a pilot scale 25 L was lower than Erlenmeyer digester 0.5 L. Composition of biogas consisted of CH₄ : CO₂ 76:26 and biogas was flammable.

Keywords: sorghum straw, EM4, sludge, co-digestion, biogas

ABSTRAK

Perlakuan awal secara biologis terhadap jerami sorgum menggunakan konsorsium mikroorganism EM4 (*Effective Microorganisms-4*) diteliti sebagai bahan baku untuk produksi biogas. Produksi biogas dilakukan dengan substrat jerami sorgum hasil perlakuan awal dan substrat campuran (*co-digestion*) jerami sorgum hasil perlakuan awal dengan *sludge* Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi EM4 dan perbandingan jerami sorgum dengan *sludge* pada produksi biogas dengan metode *co-digestion*. Perlakuan awal secara biologis menggunakan EM4 konsentrasi 0,0; 0,1; 0,5; dan 1,0% (v/v). Parameter perlakuan awal yang diukur yaitu COD (chemical oxygen demand) terlarut. Jerami sorgum hasil perlakuan awal digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biogas. Proses *co-digestion* jerami sorgum hasil perlakuan awal dan *sludge* dilakukan pada perbandingan 80:20, 75:25, 70:30 dan 65:35 (b/b). Parameter yang diukur meliputi produksi biogas kumulatif (L/kg VS) dan komposisi biogas (CH₄ dan CO₂). Hasil penelitian perlakuan awal secara biologis menunjukkan bahwa makin tinggi konsentrasi EM4, maka makin tinggi COD terlarut yang dihasilkan. Produksi biogas hasil perlakuan awal menunjukkan makin tinggi konsentrasi EM4, fase adaptasi mikroorganisme anaerob menurun dari 30 hari tanpa perlakuan EM4 menjadi 20 hari. Produksi biogas juga meningkat dari 75 L/kgVS tanpa penambahan EM-4 menjadi 108 L/kgVS pada penambahan EM4 1,0%. Proses *co-digestion* jerami sorgum perlakuan awal dengan *sludge* dapat meningkatkan produksi biogas 245-293%. Produksi biogas tertinggi pada proses *co-digestion* diperoleh dari perbandingan jerami sorgum terhadap *sludge* 75:25 (b/b) dengan produksi mencapai 371 L/kgVS pada hari ke-65. Produksi biogas pada digester skala pilot 25 L lebih rendah dibanding digester labu Erlenmeyer 0,5 L. Komposisi biogas terdiri atas CH₄ : CO₂ 74:26 dan termasuk dalam kelompok gas yang dapat terbakar.

Kata kunci : jerami sorgum, EM4, *sludge*, *co-digestion*, biogas

PENDAHULUAN

Degradasi anaerobik adalah proses dekomposisi bahan organik pada kondisi tanpa

oksigen dengan melibatkan konsorsium mikroorganisme anaerobik yang akan mendegradasi bahan organik menjadi biogas (gas metan/CH₄ dan karbondioksida/CO₂) (Al Seadi *et al.*, 2008). Biogas

^{*}Penulis untuk korespondensi

merupakan campuran gas metana (CH_4), karbondioksida (CO_2) dan gas lain dalam jumlah kecil seperti H_2 , H_2S . Biogas antara lain dapat digunakan sebagai bahan bakar kompor gas dan lampu penerangan yang ramah lingkungan. Sebagai hasil samping dihasilkan digestat yang berupa padatan dan lindi (leachate) yang tidak terdekomposisi menjadi biogas. Digestat padatan dapat dimanfaatkan sebagai kompos untuk memperbaiki struktur tanah, sedangkan lindi dapat digunakan sebagai pupuk cair. Dengan demikian serluruh hasil fermentasi biogas menghasilkan produk yang bermanfaat.

Perubahan bahan organik menjadi biogas melalui empat tahapan yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis (Wilkie, 2005). Dari ke-empat tahapan ini, tahapan hidrolisis merupakan tahapan yang kritis pada degradasi anaerobik dengan bahan baku limbah pertanian yang berupa lignoselulosa (seperti jerami, batang jagung, batang sorgum). Limbah lignoselulosa mengandung komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin, posisi selulosa terselubungi oleh lignin, sehingga sulit didegradasi oleh mikroorganisme (enzim) hidrolitik.

Pada prinsipnya semua bahan organik dapat didegradasi secara anaerobik. Aplikasi degradasi anaerobik selama ini telah berhasil diterapkan untuk penanganan *sludge* limbah domestik, kotoran ternak, dan *sludge* pengolahan limbah cair domestik dan industri, terutama limbah yang mengandung bahan organik yang tinggi (Wilkie, 2005). Limbah padat berupa biomassa pertanian dan agroindustri memiliki kandungan bahan organik yang tinggi. Penanganan limbah padat dengan teknologi anaerobik dapat mengkonversi bahan organik menjadi biogas.

Produksi biji sorgum menghasilkan jerami sorgum sebagai limbah padat yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biogas. Tanaman sorgum (*Sorghum bicolor*) merupakan tanaman rumput-rumputan yang menghasilkan biji sorgum dan biomassa berupa batang (jerami sorgum) dan daun. Komponen jerami sorgum cukup tinggi dibandingkan hasil utama biji sorgum. Rendemen jerami sorgum sebanyak 1,3 kali biji sorgum (Kim dan Dale, 2004). Jika rata-rata produksi biji sorgum 5 ton/Ha, maka akan dihasilkan jerami sorgum sebanyak 6,5 ton/Ha. Jerami sorgum mengandung 88,0% total padatan yang terdiri atas karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) 61,0% dan lignin 15%. Komponen selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi ini berpotensi dapat didegradasi menjadi biogas. Pemanfaatan jerami sorgum selama ini umumnya digunakan sebagai pakan ternak dan bahan bakar.

Degradasi jerami sorgum terkendala oleh struktur lignoselulosa yang sulit didegradasi karena ikatan silang antara polisakarida (selulosa dan hemiselulosa) dengan lignin melalui ikatan ester dan ether (Xiao *et al.*, 2007). Selulosa, hemiselulosa, dan lignin membentuk struktur selulosa mikrofibril

yang berfungsi memperkuat tanaman (Rubin, 2008). Selulosa mikrofibril memiliki dua pertiga daerah kristalin yang sulit diakses oleh enzim hidrolitik dan sepertiga daerah amorf yang mudah diakses oleh enzim hidrolitik (Chum *et al.*, 1985). Kendala yang lain pada degradasi lignoselulosa jerami sorgum yaitu komposisi kimia jerami sorgum yang miskin akan nitrogen (N). Menurut Candra *et al.* (2012), kandungan nitrogen dalam jerami sorgum kering sebesar 0,74%. Kandungan nitrogen yang rendah akan berimplikasi pada nisbah C/N cukup tinggi yaitu 55,4%. Degradasi anaerob yang efektif memerlukan substrat dengan nisbah C/N 20-30. Oleh karena itu rendahnya kandungan nitrogen pada jerami sorgum harus diupayakan peningkatan kandungan nitrogen pada substrat jerami sorgum dengan cara menambahkan bahan yang memiliki kandungan nitrogen lebih tinggi seperti biomassa Leguminosa (daun tanaman kacang-kacangan), sampah sayur-sayuran, dan *sludge* hasil pengolahan air limbah.

Degradasi anaerobik limbah padat dapat dilakukan dengan proses kering atau proses basah. Degradasi limbah padat dengan proses kering menggunakan total padatan 20-60%, sedangkan proses basah total padatannya kurang dari 20% (Lissens *et al.*, 2001). Proses kering memiliki keunggulan yaitu membutuhkan ukuran digester yang relatif kecil, namun memerlukan proses pengadukan bahan yang cukup sulit dan mahal. Proses basah dengan jumlah air yang lebih banyak memerlukan volume digester yang besar. Kelebihan dari proses basah yaitu pada operasinya tidak diperlukan pengadukan. Dengan pertimbangan kemudahan operasionalnya pada aplikasi skala penuh, dilakukan modifikasi yaitu dengan pengaturan total padatan yang termasuk dalam kategori semi basah. Proses ini tidak memerlukan pengadukan yang mahal dan bahan cukup kering sehingga volume reaktor yang diperlukan tidak terlalu besar. Proses degradasi anaerob dilakukan pada kondisi total padatan sekitar 10% agar kandungan airnya sesedikit mungkin, namun secara fisik substrat berbentuk *slurry* yang memungkinkan substrat masih bisa mengalir, sehingga pada proses degradasi anaerob tidak perlu pengadukan yang pada akhirnya akan mengurangi biaya operasional pada degradasi jerami sorgum.

Bahan baku jerami sorgum sebelum digunakan sebagai substrat degradasi anaerobik dilakukan perlakuan awal secara fisik (pengecilan ukuran) dan secara biologis (bioksidasi parsial). Tujuan perlakuan awal yaitu untuk meningkatkan luas permukaan bahan, sehingga memperluas kontak antara mikroorganisme hidrolitik (enzim) terhadap bahan. Perlakuan awal secara biologis dapat menggunakan mikroorganisme yang dapat mendegradasi bahan organik selulosa dan hemiselulosa. Untuk meningkatkan kandungan nitrogen pada substrat jerami sorgum dilakukan

penambahan substrat (*co-substrate*) berupa *sludge* dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Proses fermentasi menggunakan dua jenis substrat ini dikenal dengan proses *co-digestion*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan kinerja operasi digester dengan metode *co-digestion* untuk limbah pertanian berupa jerami sorgum dan *sludge* Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Peningkatan kinerja laju hidrolisis substrat dan biodegradabilitasnya dilakukan dengan perlakuan awal secara biologis menggunakan *effective microorganisms* (EM4). Peningkatan kinerja digester dilakukan melalui metode *co-digestion* jerami sorgum dengan *sludge* pengolahan limbah cair, sehingga diharapkan diperoleh rancangan proses *co-digestion* yang optimal menggunakan jerami sorgum dan *sludge* IPAL.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Jerami sorgum diperoleh dari sisa panen berupa batang *Shorgum bicolor* varietas Numbu dari Kebun Percobaan BIOTROP-IPB di Tajur Kota Bogor. Inokulum fermentasi biogas berupa kotoran sapi diperoleh dari Peternak di Desa Cangkurawok Kecamatan Ciampea Kabupaten Bogor. Konsorsium mikroorganisme untuk perlakuan awal berupa EM4 (Effective Microorganisms-4) mengandung bakteri fermentasi, jamur fermentasi, actinomycetes, dan ragi diproduksi oleh PT Songgolangit Persada Jakarta. *Sludge* diperoleh dari Instalasi Pengolahan Air Limbah pabrik permen PT Van Melle Perfetti Indonesia di Cibinong Kabupaten Bogor. Bahan kimia yang digunakan yaitu berbagai bahan kimia *pro-analyzed*.

Alat yang digunakan berupa digester labu Erlenmeyer 500 mL yang diletakkan dalam *water bath shaker*. Labu Erlenmeyer dilengkapi dengan pipa kaca berbentuk "U" dihubungkan dengan gelas ukur terbalik berisi air sebagai penampung biogas. Pengukuran volume gas menggunakan metode "water displacement".

Metode

Penyiapan dan Karakterisasi Bahan Baku

Jerami sorgum sisa panen dijemur sampai kering (kadar air $\pm 10\%$) kemudian dipotong menjadi berukuran 0,5-1,0 cm dan digiling menggunakan Hammer Mill, sehingga diperoleh serbuk jerami sorgum ukuran 1-10 mm. Inokulum berupa kotoran sapi yang masih baru diambil dari kandang peternakan sapi dimasukkan ke dalam kantong plastik yang rapat kemudian disimpan di dalam lemari es. *Sludge* diperoleh dari Instalasi Pengolahan Air limbah (IPAL) dimasukkan ke dalam kantong plastik disimpan di dalam lemari es bersuhu 4°C. Bahan-bahan tersebut dianalisis kadar air, abu, nitrogen, karbon dan rasio C/N (AOAC, 1995).

Perlakuan Awal Jerami Sorgum secara Biologis

Konsorsium mikroorganisme yang digunakan berupa cairan yang berisi mikroorganisme berbagai jenis yang sudah tersedia secara komersial dengan merek dagang EM4. Tujuan penambahan konsorsium mikroorganisme yaitu agar lignoselulosa dalam jerami sorgum dapat hidrolisis (oksidasi parsial), sehingga jerami sorgum mudah didegradasi oleh bakteri pendegradasi lignoselulosa pada proses degradasi anaerob. Sebanyak 100 g bahan baku direndam dalam akuades selama 30 menit sampai seluruh bagian jerami basah kemudian ditiriskan. Jerami basah direndam dalam suspensi konsorsium mikroorganisme dengan konsentrasi 0,0; 0,1; 0,5 dan 1,0% (v/v) selama 10 hari. Parameter yang diuji terhadap jerami sorgum hasil perlakuan awal secara biologis meliputi padatan total (*Total Solid=TS*), padatan volatil (*Volatile Solid=VS*), kadar abu, COD terlarut dan total nitrogen (APHA, 2005).

Pengaruh Perlakuan Awal Biologis terhadap Produksi Biogas

Substrat jerami sorgum hasil perlakuan awal secara biologis digunakan sebagai substrat produksi biogas. Produksi biogas dilakukan pada digester labu Erlenmeyer bervolume 500 mL secara fermentasi basah dengan total padatan 8 - 10% dengan volume kerja 300 mL. Inokulum yang digunakan berupa kotoran sapi sebanyak 10%. Pengamatan produksi biogas dilakukan setiap hari selama 65 hari. Pada hari ke-0 dan hari terakhir dianalisis TS, VS, abu, total nitrogen.

Pengaruh Co-Digestion terhadap Produksi Biogas

Proses *co-digestion* jerami sorgum hasil perlakuan awal dicampur *sludge* hasil pengolahan limbah cair secara aerob. Substrat hasil perlakuan awal bahan baku jerami sorgum dicampur dengan *sludge* dengan perbandingan 80:20, 75:25, 70:30, dan 65:35 satuan (b/b). Inokulum yang ditambahkan berupa kotoran sapi sebanyak 10%. Substrat diatur pHnya menjadi 7 dengan penambahan HCl atau NaOH 1%. Sebelum fermentasi, oksigen dalam labu Erlenmeyer diusir dengan cara mengalirkan gas nitrogen (N₂) dari tabung gas nitrogen, agar supaya kondisi dalam digester anaerob. Parameter yang dianalisis pada substrat sebelum fermentasi meliputi padatan total (TS), padatan volatil (VS), dan nitrogen menurut AOAC (1995). Selama proses fermentasi diukur produksi gas spesifik (L/kgVS) menggunakan metode "water displacement" dan komposisi biogas menggunakan Gas Chromatography.

Ujicoba Skala Pilot

Ujicoba degradasi anaerobik dilakukan pada digester 25 L bertujuan untuk mengaplikasikan hasil penelitian skala labu Erlenmeyer 500 mL ke skala yang lebih besar. Substrat yang digunakan merupakan substrat hasil degradasi anaerobik *co-*

digestion terbaik pada digester Erlenmeyer 500 mL. Substrat praperlakuan biologis masing-masing digunakan sebagai substrat pada digester volume 25 L dengan volume kerja 20 L. Kondisi degradasi anaerobik pada suhu ruang, tanpa pengadukan. Selama proses degradasi diukur volume biogas yang terbentuk setiap hari menggunakan alat pengukur gas “Ritter”.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Jerami Sorgum, Kotoran Sapi dan *Sludge*

Karakterisasi jerami sorgum, kotoran sapi dan *sludge* bertujuan untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung dalam bahan-bahan tersebut. Hasil karakterisasi (Tabel 1) menunjukkan kandungan padatan volatile cukup tinggi, hal ini mengindikasikan protensi karbon cukup tinggi untuk dikonversi menjadi biogas (CO₂+CO₂). Komponen nitrogen pada jerami sorgum termasuk rendah sehingga C/N jerami sorgum terlalu tinggi. Sebaliknya pada *sludge* kandungan nitrogen cukup tinggi, sehingga rasio C/N terlalu rendah. Hal ini berarti bahwa jika jerami sorgum digunakan sebagai substrat untuk memproduksi biogas perlu ditambahkan nitrogen. Sedangkan rasio C/N *sludge* yang rendah menunjukkan tingginya komponen nitrogen, sehingga memiliki potensi sebagai *co-substrate* untuk memproduksi biogas. Deublein dan Steinhäuser (2008) menyatakan bahwa untuk memproduksi biogas dibutuhkan rasio C/N sebesar 25 – 30.

Tabel 1. Karakteristik jerami sorgum dan *sludge*

Parameter	Jerami sorgum	<i>Sludge</i>
Total padatan (%)	96,36	5,36
Air (%)	7,64	94,64
Abu (%)	5,72	0,95
Padatan volatil (%)	86,64	4,41
Nitrogen (%)	0,18	0,22
Karbon (%)	48,03	1,77
Rasio C/N	123	8

Karakteristik Jerami Sorgum Hasil Perlakuan Awal Secara Biologis

Karakteristik jerami sorgum hasil perlakuan awal dengan perendaman dalam EM4 (Tabel 2) menunjukkan bahwa makin tinggi konsentrasi EM4, COD terlarut dalam jerami sorgum makin tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam konsorsium mikroorganisme EM4 mengandung jenis mikroba hidrolitik yang dapat mendegradasi komponen-komponen tak larut seperti selulosa dan hemiselulosa pada jerami sorgum menjadi senyawa terlarut berupa gula sederhana. Pada perlakuan EM4 0,0% (tanpa penambahan EM4), jerami sorgum mengandung COD terlarut sebesar 23750 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa pada jerami sorgum

mengandung komponen terlarut. Komponen terlarut ini kemungkinannya adalah gula, karena tanaman sorgum selain dipanen sebagai penghasil biji, batang sorgum berasa manis dan dapat diekstrak sebagai sumber gula cair serta dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan etanol. Mahmood *et al.* (2013) telah mengevaluasi berbagai hibrida jerami sorgum ternyata pada batang jerami sorgum mengandung total gula 0,90 – 19,7%. Hal ini juga didukung bahwasanya batang sorgum yang sudah dipanen, ruas-ruas pada batang sorgum dapat tumbuh tunas yang dapat menjadi tanaman baru yang berarti pula bahwa jerami sorgum mengandung gula dan nitrogen untuk pembentukan tunas baru.

Tabel 2. Karakteristik jerami sorgum hasil perlakuan awal secara biologis

Perlakuan	TS (%)	VS (%)	COD terlarut (mg/L)
EM4 0,0%	15,46	14,49	23.750
EM4 0,1%	15,83	14,79	24.000
EM4 0,5%	15,32	14,38	24.500
EM4 1,0%	16,27	15,07	25.000

Hasil perlakuan perendaman jerami sorgum dalam berbagai konsentrasi EM4 (Tabel 2) menunjukkan makin tinggi konsentrasi EM4, COD terlarut makin tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa EM4 mengandung jenis mikroba hidrolitik yang dapat mendegradasi komponen-komponen tak larut seperti selulosa dan hemiselulosa pada jerami sorgum menjadi senyawa terlarut berupa gula sederhana. Hal ini didukung oleh keterangan pada botol wadah EM4 yang digunakan mengandung bakteri fermentasi, jamur fermentasi, *Actinomycetes*, jamur fermentasi, dan ragi. Bakteri *Clostridium* yang diduga sebagai bakteri hidrolitik yang dapat menghidrolisa jerami sorgum (lignoselulotik). Yan *et al.* (2012) menggunakan konsorsium mikroorganisme BYND-5 (*Bacterioides*, *Clostridium*, *Lentisphaerae*, *Deltaproteobacteria*, *Deferribacteres*, *Fibrobacteriaceae*) inkubasi 7 hari 30°C dapat mendegradasi lebih dari 49% jerami padi dalam waktu 7 hari pada suhu 30°C. Rasio degradasi untuk selulosa, hemiselulosa, dan lignin masing-masing mencapai 40,7%, 55,5%, dan 2,4%.

Pengaruh Perlakuan Biologis terhadap Produksi Biogas

Substrat awal jerami sorgum hasil perlakuan awal secara biologis menggunakan EM4, inokulum feses sapi (Tabel 3) menunjukkan bahwa rasio C/N lebih rendah dibanding jerami sorgum awal. Hal ini dapat disebabkan karena feses sapi mengandung nitrogen sehingga dapat meningkatkan kandungan nitrogen pada substrat yang ditunjukkan oleh menurunnya rasio C/N. Namun demikian rasio C/N belum pada kondisi yang optimal yaitu 20 -30.

Tabel 3. Karakteristik substrat fermentasi hasil perlakuan awal EM4

Perlakuan	TS (%bb)	Air (%bb)	Abu (%bb)	VS (%bb)	Rasio C/N
EM4 0 %	10,31	89,69	1,11	9,19	100
EM4 0,1 %	10,89	89,11	1,19	9,70	102
EM4 0,5 %	10,81	19,19	1,22	9,60	105
EM4 1,0 %	10,55	89,45	1,21	9,34	105

Pertumbuhan mikroorganisme pada fermentasi secara *batch* melalui beberapa fase yaitu fase adaptasi, fase logaritmik, fase pertumbuhan statis dan fase kematian. Gambar 2 menunjukkan bahwa pada perlakuan awal menggunakan EM4 konsentrasi 0,0% (tanpa perlakuan awal) dan 0,1%, fase adaptasi memerlukan waktu 30 hari, sedangkan pada konsentrasi EM4 0,5 dan 1,0% fase adaptasi memerlukan waktu lebih pendek yaitu 20 hari. Hal ini berarti makin tinggi konsentrasi EM4, makin tinggi jumlah mikroorganisme hidrolitik, sehingga semakin tinggi senyawa terlarut yang dihasilkan dan dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme anaerob.

Produksi biogas hasil perlakuan biologis menggunakan EM4 menunjukkan terjadi peningkatan yang cukup tajam pada semua perlakuan setelah fase adaptasi. Pada perlakuan EM4 0,5% dan 1,0% terjadi peningkatan produksi biogas dari 20 L/kg VS pada hari ke-20 menjadi 100 L/kg VS pada hari ke-65. Semakin tinggi konsentrasi konsorsium mikroorganisme EM4, menyebabkan produksi biogas semakin tinggi. Hal ini berarti bahwa konsorsium mikroorganisme anaerob mempunyai hubungan simbiosis mutualisme. Hidrolisat hasil mikroorganisme hidrolitik dimanfaatkan oleh mikroorganisme asidogenesis, selanjutnya asam-asam lemak volatil (VFA) dimanfaatkan oleh mikroorganisme asetogenesis, kemudian asam asetat dan hidrogen dimanfaatkan oleh mikroorganisme metanogenesis yang menghasilkan biogas (CH₄ dan CO₂).

Sampai hari ke-65 produksi biogas berturut-turut dari yang tertinggi sampai terendah pada perlakuan EM4 1,0%, 0,5%, 0,1% dan 0,0% (tanpa penambahan) masing-masing sebesar 108, 104, 94, dan 75 L/kg VS. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi EM4, maka makin tinggi pula peningkatan produksi biogas. Perlakuan biologis menggunakan EM4 meningkatkan perolehan biogas sebesar 25-44%. Perlakuan biologis (EM4) optimum diperoleh pada konsentrasi 1% dengan peningkatan perolehan biogas 44%. Peningkatan produksi biogas kemungkinan disebabkan karena di dalam EM4 mengandung mikroorganisme hidrolitik yang mampu menghidrolisis selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer berupa gula sederhana seperti glukosa. Mikroorganisme yang ada dalam EM4 seperti yang tercantum pada label yang diduga dapat melakukan hidrolisis yaitu bakteri fermentasi, actinomycetes, jamur fermentasi dan ragi. Actinomycetes merupakan mikroorganisme memiliki habitat di tanah ini diduga yang berperan menghidrolisis

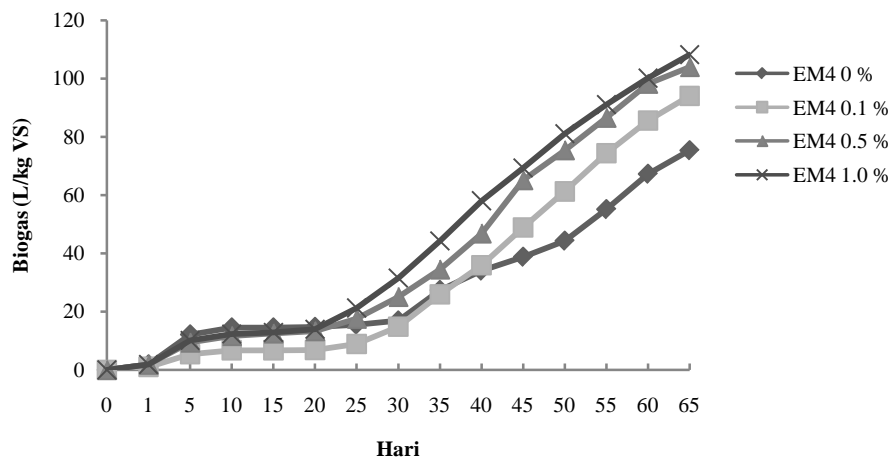
lignoselulosa menjadi gula yang larut dalam air. Hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian lain, antara lain Yan *et al.* (2012) yang melakukan perlakuan awal terhadap bahan baku jerami padi menggunakan konsorsium mikroorganisme BYND-5 hasilnya produksi biogas meningkat sebesar 15,6%. Zhong *et al.* (2011) melakukan perlakuan awal menggunakan campuran kompleks mikroorganisme (Yeast, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas*, *Bacillus subtilis*) terhadap jerami jagung pada suhu 20°C 0,01% selama 15 hari dapat meningkatkan perolehan biogas 33,07%, 75,57% metan dan memperpendek waktu degradasi 34,6% dibanding dengan bahan tanpa perlakuan awal. Phutela dan Sahni (2012) melakukan perlakuan awal menggunakan kapang *Fusarium sp.* inkubasi 10 hari dapat meningkatkan perolehan biogas 54%.

Pengaruh *Co-digestion* terhadap produksi biogas

Proses *co-digestion* jerami sorgum dan *sludge* dimaksudkan untuk memanfaatkan unsur nitrogen pada *sludge* untuk meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme anaerob. Karakteristik substrat *co-digestion* menggunakan jerami sorgum dan *sludge* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada proses *co-digestion* antara jerami sorgum hasil hidrolisis menggunakan EM4 dan *sludge* dapat memperbaiki rasio C/N, sehingga berada pada komposisi optimum degradasi anaerob yaitu antara 24-30. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *sludge* dapat meningkatkan kandungan nitrogen. Dengan peningkatan kadar nitrogen menyebabkan penurunan rasio C/N atau dengan kata lain tercukupinya kebutuhan nitrogen bagi mikroorganisme anaerob.

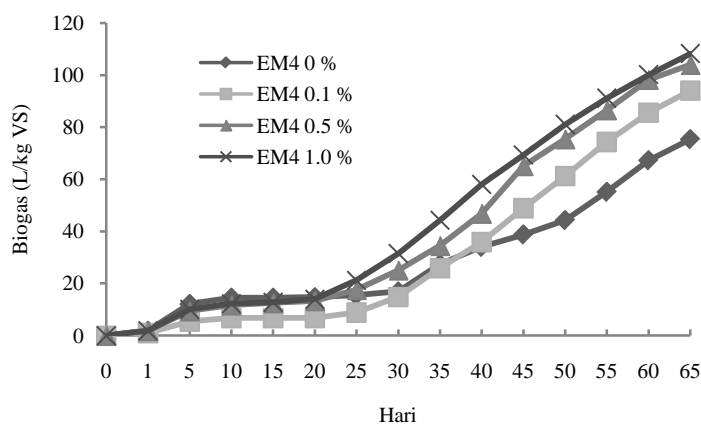
Produksi biogas secara *co-digestion* (Gambar 3) meningkat tajam sampai hari ke-20 produksi biogas mencapai 250 L/kgVS pada semua perlakuan. Proses *co-digestion* substrat jerami sorgum dan *sludge* menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroorganisme anaerob tidak terjadi fase adaptasi tetapi langsung ke fase logaritmik pada pembentukan produk. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan awal menggunakan EM4 terjadi hidrolisis lignoselulosa menjadi gula sederhana yang siap digunakan sebagai nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme anaerob. Sedangkan pada proses *co-digestion* menggunakan *sludge* dapat menyediakan nitrogen bagi pertumbuhan mikroorganisme anaerobik. Dengan demikian sejak awal fermentasi kebutuhan nutrisi senyawa terlarut dan nitrogen dapat tercukupi.



Gambar 2. Pengaruh perlakuan awal secara biologis terhadap produksi biogas

Tabel 3. Karakteristik substrat *co-digestion* dengan berbagai rasio jerami sorgum dan *sludge*

Perlakuan	TS (%)	VS (%)	Rasio C/N
Jerami sorgum: <i>sludge</i> 80:20	7,86	6,55	30
Jerami sorgum: <i>sludge</i> 75:25	7,81	6,49	28
Jerami sorgum: <i>sludge</i> 70:30	7,85	6,44	26
Jerami sorgum: <i>sludge</i> 65:35	8,18	6,40	24

Gambar 3. Pengaruh *co-digestion* jerami sorgum dan *sludge* terhadap produksi biogas

Produksi biogas substrat tunggal jerami sorgum pada hari ke-65 sebesar 108 L/kgVS (Gambar 2), sedangkan pada *co-digestion* produksi biogas mencapai 314-358 L/kgVS atau meningkat 245-293%. Perbandingan terbaik diperoleh pada *co-digestion* jerami sorgum perlakuan awal 1% dan *sludge* 75:25 dengan hasil produksi biogas sebesar 358 L/kgVS atau meningkat 293%. Hal ini kemungkinan disebabkan ketersediaan nutrisi dan rasio C/N yang optimal bagi pertumbuhan mikroorganisme anaerob. Hasil ini lebih tinggi dari yang dihasilkan oleh Mursec *et al.* (2009) yang memproduksi biogas *co-digestion* jerami sorgum dan feses babi dapat menghasilkan 188 L/kgVS, sedangkan *co-digestion* batang sorgum menghasilkan 187 L/kgVS. Sedangkan Macias-

Corral *et al.* (2008) melakukan *co-digestion* limbah padat perkotaan dan kotoran sapi dapat meningkatkan produksi biogas 460%. Comino *et al.* (2010) memproduksi biogas *co-digestion* biomasa tanaman biji-bijian dan feses sapi (90:10) dapat meningkatkan produksi metana 109%.

Produksi Biogas pada Digester 25 L

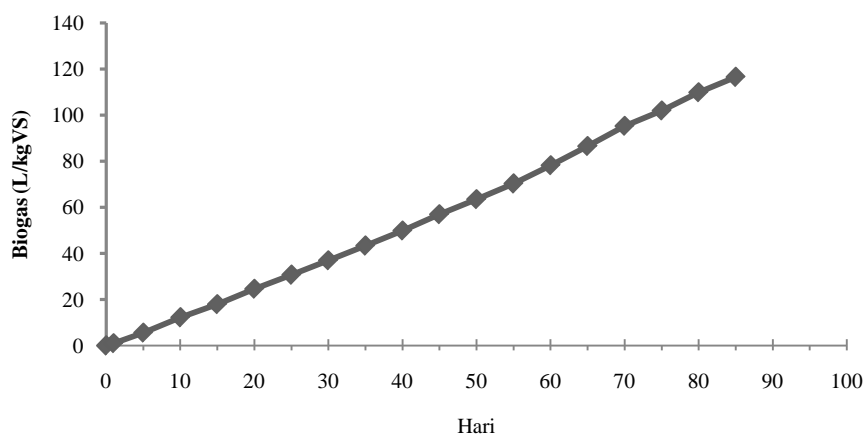
Produksi biogas pada digester 25 L volume kerja 20 L menggunakan substrat *co-digestion* terbaik dari perlakuan awal biologis (EM4) dengan *sludge* 75:25. Volume kerja digester sebanyak 0,8 bagian dari volume digester atau 20 L dapat meniadakan fase adaptasi mikroorganisme anaerobik, sejak awal proses degradasi langsung ke fase logaritmik. Pola produksi biogas (Gambar 4)

menunjukkan bahwa produksi biogas terus meningkat dari awal sampai hari ke-90. Jika produksi biogas sistem *co-digestion* jerami sorgum praperlakuan biologis dan *sludge* 75:25 pada digester Erlenmeyer 0,5 L dan digester 25 L dibandingkan, terlihat bahwa pada digester 0,5 L pada hari ke-50 produksi biogas mencapai 345 L/kgVS, sedangkan pada digester 25 L baru mencapai 60 L/kgVS. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa produksi biogas pada digester skala pilot 25 L lebih rendah dibanding digester labu Erlenmeyer 0,5 L. Hal ini dapat terjadi karena pada digester 0,5 L suhu operasi dijaga pada $35 \pm 1^\circ\text{C}$ merupakan suhu optimum proses degradasi anaerobik, sedangkan pada digester 25 L suhu $25-30^\circ\text{C}$ lebih rendah dari suhu optimum, sehingga produksi biogas juga lebih rendah. Angelidaki (2004) menyatakan bahwa proses degradasi anaerobik dapat terjadi pada suhu psikrofilik ($20-25^\circ\text{C}$), mesofilik ($25-45^\circ\text{C}$) dan termofilik ($45-70^\circ\text{C}$). Suhu optimum degradasi anaerobik untuk menghasilkan biogas tertinggi sampai terendah berturut-turut pada suhu termofilik, mesofilik, dan psikrofilik.

Komposisi Biogas

Komposisi biogas perlakuan awal menggunakan EM4 dianalisis komponen gas metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Hasil analisis komposisi biogas (Tabel 4) menunjukkan bahwa konsentrasi CH_4 pada kisaran 86 567-109 860 ppm. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan rasio C/N yang tidak jauh berbeda antar perlakuan. Rasio C/N 90-100 termasuk kondisi yang belum optimum bagi pertumbuhan mikroorganisme anaerob atau dengan kata lain substrat masih kekurangan nitrogen.

Komposisi biogas hasil *co-digestion* jerami sorgum dan *sludge* (Tabel 5) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsentrasi CH_4 dibandingkan dengan degradasi menggunakan substrat jerami sorgum saja (Tabel 4). Peningkatan kandungan CH_4 pada degradasi anaerob jerami sorgum dibanding *co-digestion* jerami sorgum dan *sludge* meningkat 88-103%. Hal ini dapat disebabkan karena rasio C/N pada substrat *co-digestion* sudah lebih rendah atau pada kondisi yang optimum 22-31 atau kebutuhan nitrogen sudah tercukupi. Deublein dan Steinhauser (2008) menyatakan bahwa untuk memproduksi biogas dibutuhkan rasio C/N 25-30.



Gambar 4. Profil produksi biogas *co-digestion* pada digester 25 L

Table 4. Komposisi biogas perlakuan awal menggunakan EM4

Perlakuan	Rasio C/N	CH_4 (ppm)	CO_2 (ppm)	CH_4 (%)	CO_2 (%)
EM4 0,0 %	93	86.567	683	65	35
EM4 0,5 %	92	109.860	748	65	35
EM4 1,0 %	91	90.512	574	65	35
EM4 1,5 %	90	108.981	681	65	35

Tabel 5. Komposisi biogas *co-digestion* jerami sorgum dan *sludge*

Perlakuan Perbandingan Jerami Sorgum:sludge	Rasio C/N	CH_4 (ppm)	CO_2 (ppm)	CH_4 (%)	CO_2 (%)
80:20	30	212.974	74.529	74	26
75:25	28	216.155	75.253	74	26
70:30	26	221.630	55.388	74	26
65:35	24	205.288	73.239	74	26

Kualitas biogas ditentukan oleh komponen utama penyusun yaitu metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Garvas (2007), mengelompokkan biogas yang dapat terbakar dan tidak dapat terbakar berdasarkan persentase kadar CH_4 dan CO_2 . Biogas yang termasuk dalam kelompok dapat terbakar mengandung CH_4 50-70%, sedangkan biogas tidak terbakar mengandung CO_2 25-50%. Semua perlakuan *co-digestion* menghasilkan biogas yang dapat terbakar.

Komponen CH_4 tertinggi diperoleh pada perlakuan jerami sorgum: *sludge* 70:30 (Tabel 5). Perbandingan CH_4 : CO_2 pada degradasi substrat *co-digestion* jerami sorgum dan *sludge* sebesar 74:26 sampai 80:20. Hal ini dapat disebabkan oleh komposisi kimia substrat yang optimal bagi pertumbuhan mikroorganisme anaerobik. Secara teoritis komposisi biogas (CH_4 dan CO_2) dipengaruhi oleh komponen kimia dalam substrat. Al Seadi *et al.* (2008) bahwasanya degradasi anaerob menggunakan substrat protein, lemak, dan karbohidrat dapat menghasilkan komponen gas CH_4 : CO_2 berturut-turut 70: 30, 67:33 dan 50:50.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perlakuan awal secara biologis menggunakan EM4 terhadap jerami sorgum dapat meningkatkan komponen terlarut yang ditandai dengan peningkatan COD terlarut. Proses degradasi anaerob menggunakan jerami sorgum yang mengalami perlakuan awal menggunakan EM4 dapat mempercepat fase adaptasi mikroorganisme dan meningkatkan perolehan biogas 25-44%. Perlakuan awal secara biologis menggunakan EM4 1,0% merupakan perlakuan optimal dengan produksi biogas 108 L/kgVS selama 65 hari.

Proses *co-digestion* jerami sorgum hasil perlakuan awal dengan *sludge* IPAL dapat meningkatkan produksi biogas sebesar 245-293%. Perlakuan terbaik diperoleh pada perbandingan jerami sorgum hasil perlakuan awal EM4 1% dengan *sludge* 75:25 dengan produksi biogas 371 L/kgVS dan metana 275 L/kgVS selama 65 hari. Berdasarkan komposisi CH_4 dan CO_2 , biogas yang dihasilkan dari semua perlakuan menunjukkan termasuk gas yang dapat terbakar.

Saran

Aplikasi pada digester volume 25 L perlu dilakukan optimasi proporsi pengisian umpan baru untuk meminimumkan fase lag. Aplikasi di lapangan perlu perancangan konstruksi digester yang mampu mempertahankan suhu dan memperbaiki kinerja pencampuran, misalnya dengan resirkulasi lindi. Untuk perolehan kembali unsur hara, perlu dilakukan kajian pemanfaatan digestat dan lindi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi T, Rutz D, Prassl H, Kottner M, Finsterwalder T, Volk S, Janssen R. 2008. Biogas handbook. University of Southern Denmark Esbjerg, Denmark. Tersedia di <http://www.sdu.dk>
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis of The Association of Analytical Chemist*. Washington DC:AOAC International.
- APHA. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. New York: American Public Health Association.
- Chandra R, Takeuchi H, dan Hasegawa N. 2012. Hydrothermal pretreatment of rice straw biomass : A potential and promising method for enhanced methane production. *Appl Energy*. 94:129-140.
- Chum HL, Douglas LJ, Feinberg DA, Schroeder HA, 1985. Evaluation of pretreatments of biomass for enzymatic hydrolysis of cellulose. Solar Energy Research Institute: Golden. Colorado, pp 1-64.
- Comino E, Rosso M, dan Reggio V. 2010. Investigation of increasing organic loading rate in the co-digestion of energy crops and cow manure mix. *Biores Technol*. 101:1013-1019.
- Deublein D dan Steinhauser A. 2008. Biogas from waste and renewable resource, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
- Garvas J. 2007. Biogas, <http://www.ee.uni-lj.si/VOOVE/ekskurzija/-system/biopilin.pdf>, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering.
- Kim S dan Dale BE. 2004. Global potential bioethanol production from waste crops and crop residues. *J Biomol Bioeng*. 26:361-375.
- Lissens G, Vandevivere P, De Barere L, Biey EM, Vestraete W. 2001. Solid waste digester: process performance and practice for municipal solid waste digestion. *Water Sci Technol*. 44 (8): 91-102.
- Macias-Corral M, Samani Z, Hanson A, Smith G, Funk P, Yu H, Longworth J. 2008. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and effect of co-digestion with dairy cow manure. *Biores Technol*. 99:8288-8293.
- Mahmood A, Ullah H, Ijaz M, Javaid MM, Shahzad AN, Honermeier B. 2013. Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. *AJCS* 7(10):1456-1462.
- Mursec B, Vindis P, Janzekovic M, Brus M, Cus F. 2009. Analysis of different substrates for processing into biogas. *J Achiev Mat Manufact Eng*. 37 (2): 38-43.
- Rubin EM. 2008. Genomics of cellulosic biofuels. *Nat*. 454 (14): 841-845.

- Wilkie AC. 2005. Annerobic digestion: biology and benefits. Dairy Manure Management Conference March 15-17 2005 NRAES-176.
- Xiao C, Bolton R, dan Pan WL. 2007. Lignin from rice straw kraft pulping: Effects on soil annregation and chemical properties. *Biores Technol.* 98 (7): 1482-1488.
- Yan L, Gao Y, Wang Y, Liu Q, Sun Z, Fu B, Wen X, Cui Z, Wang W. 2012. Diversity of mesophilic lignocellulolytic microbial consortium which is useful for enhancement of biogas production. *Biores Technol.* 23: 201-212.
- Zhong W, Zhang Z, LuoY, Sun S, Qiao W, Xiao M. 2011. Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production. *Biores Technol.* 102: 177-182.