

Degradasi Anaerob Sampah Organik dengan Bioaktivator *Effective Microorganism-5 (EM-5)* untuk Menghasilkan Biogas

Metri Dian Insani

Pendidikan Biologi-Pascasarjana Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Malang. Email: sanimeching@yahoo.com

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah untuk: (1) menganalisis perbedaan penggunaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap tekanan biogas, (2) menganalisis perbedaan penggunaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap lama waktu nyala api biogas yang dihasilkan, dan (3) menganalisis perbedaan penggunaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap rasio C/N akhir. Penelitian eksperimen didesain menggunakan rancangan acak lengkap (RAL), dengan tiga perlakuan masing-masing dalam 3 kali ulangan. Hasil penelitian membuktikan bahwa: (1) terdapat perbedaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap tekanan biogas, (2) terdapat perbedaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap lama waktu nyala api, dan (3) terdapat perbedaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap rasio C/N akhir.

Kata kunci: degradasi anaerob, sampah organik, *EM-5*, biogas

Jumlah penduduk Kota Malang semakin meningkat mengakibatkan bertambahnya volume sampah. Berbagai macam pola konsumsi dan aktivitas masyarakat juga memberikan kontribusi yang besar dalam menimbulkan jenis sampah menjadi semakin beragam (Supadma dan Arthagama, 2008). Data dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang (2011) menyebutkan bahwa total sampah setiap harinya di Kota Malang mencapai 2.481 m³. Studi dokumentasi kota-kota besar di Indonesia menunjukkan bahwa sumber sampah terbesar berasal dari rumah tangga/domestik (Al Muhdhar, 2011). Di daerah dengan tingkat hunian penduduk yang tinggi, umumnya banyak menghasilkan sampah organik yang mudah busuk dan mudah diuraikan (*biodegradable*). Sampah organik berjumlah sekitar 60-80% dari total volume sampah (Ansar dan Muslimin, 2010). Pada areal peternakan sapi dihasilkan limbah ternak, di samping hasil utamanya berupa susu atau daging. Limbah ternak merupakan sisa buangan dari kegiatan peternakan seperti usaha pemeliharaan ternak, rumah potong hewan, dan pengolahan produk ternak. Seperti halnya sampah domestik, limbah berupa kotoran sapi juga mengandung bahan organik. Keberadaan kotoran sapi menjadi masalah bagi peternak maupun masyarakat di lingkungan sekitar peternakan.

Menurut Sudiran (2005), sampah dapat menimbulkan pencemaran lingkungan serta ancaman terhadap kesehatan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Masyarakat masih memandang sampah sebagai barang sisa yang tidak berguna dan bukan sebagai sumber daya yang perlu dimanfaatkan. Ironisnya, sampah masih belum dapat dikelola dengan baik. Sebenarnya sampah-sampah tersebut masih memiliki nilai ekonomis dan nilai guna jika diubah menjadi bentuk yang lebih bermanfaat, salah satunya dengan menggunakan sampah organik maupun kotoran sapi sebagai bahan baku pembuatan biogas (Balai Taman Nasional Baluran, 2010; Ahmad dkk., 2011).

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses degradasi bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi anaerob. Gas tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menghasilkan panas (kalor), gerak (mekanik), dan listrik (Ditjen PPHP, 2009a). Biogas sangat tepat sebagai bahan bakar alternatif untuk mengatasi semakin mahalnya harga BBM (Hamni, 2008). Keberadaan bahan bakar minyak tanah kini semakin langka begitupula dengan *Liquid Petroleum Gas (LPG)* yang belum dapat menjangkau daerah pedesaan. Biogas merupakan sumber energi baru yang dapat menjadi salah satu solusi untuk menghadapi tantangan krisis energi di masa depan

(Banun dan Gunawan, 2011). Sejalan dengan hal tersebut, pemerintah telah menerapkan upaya penggunaan sumber energi alternatif biogas karena dianggap layak dilihat dari segi teknis, ekonomi, dan lingkungan (Ditjen PPHP, 2009b).

Sampah organik tidak dapat langsung mengalami proses degradasi anaerob dikarenakan rantai-rantai karbon penyusunnya yang panjang dan kompleks (Siburian, 2008). Oleh karena itu diperlukan persyaratan tertentu agar dapat menghasilkan biogas. Optimasi pembentukan biogas dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain komposisi campuran bahan baku dan rasio karbon-nitrogen. Bahan baku pembuatan biogas dapat berupa campuran kotoran sapi dengan berbagai macam sampah organik. Sampah organik yang digunakan dalam penelitian ini ialah tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang, ketiganya merupakan biomassa yang mengandung lignoselulosa. Campuran antara sampah organik dengan kotoran sapi bertujuan agar mikroorganisme perombak alami yang terdapat pada kotoran sapi dapat mendegradasi polimer selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terkandung dalam sampah organik. Penambahan bioaktivator *Effective Microorganism-5 (EM-5)* dimaksudkan untuk mempercepat berlangsungnya proses degradasi anaerob untuk menghasilkan biogas. *EM-5* merupakan kultur campuran mikroorganisme perombak yang terdiri dari bakteri, *Actinomycetes*, kapang, dan khamir.

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui efektivitas beberapa campuran sampah organik dalam menghasilkan biogas sehingga dapat dipilih dengan tepat untuk dimanfaatkan potensinya sebagai bahan bakar alternatif.

METODE

Sampel dalam penelitian adalah kotoran sapi yang diperoleh dari Dinas Pertanian Bidang Peternakan Pemerintah Kota Malang, sedangkan sampel berupa tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang diperoleh dari kawasan pemukiman penduduk di Summersari, Malang. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*.

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari empat tahap, yaitu sebagai berikut.

Tahap Pembuatan *Digester*

Pada penelitian ini digunakan *digester* tipe *batch feeding* dengan semua bagian *digester* berada di atas permukaan tanah. *Digester* terbuat dari galon



Keterangan:

A= Galon

B= Pipa plastik

C= Manometer air

D= Balon penampung biogas

E= Botol "water trap"

F= Pemantik gas

Gambar 1. Desain *Digester* Tipe *Batch Feeding*

bekas air mineral dengan volume 19 liter. Pada sisi luar *digester* terdapat sambungan pipa untuk menyalurkan gas menuju ke pemantik gas. Biogas yang dihasilkan dari proses degradasi anaerob ini akan ditampung pada balon penampung yang telah dihubungkan oleh pipa. Bahan baku yang dimasukkan dalam galon sebanyak 12 liter dari total volume *digester*, tujuannya untuk memberi ruang terbentuknya biogas. Desain *digester* dalam penelitian ini ditunjukkan Gambar 1.

Tahap Penghitungan Berat Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan berupa campuran kotoran sapi dengan berbagai sampah organik yang berbeda, yaitu tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang. Bahan baku tersebut selanjutnya diencerkan dengan menggunakan air sumur. Perbandingan volume air sumur yang dituang dalam bahan baku adalah sebanyak 1,5:1. Pada total volume bahan baku 12 liter dibutuhkan 7,2 liter air dan 4,8 liter campuran kotoran sapi dan sampah organik. Sampah organik kemudian dicampur dengan kotoran sapi sehingga diperoleh rasio C/N awal sebesar 30/1.

Tahap Pencampuran dan Pemasukan Bahan Baku ke dalam *Digester*

Setiap bahan ditimbang sesuai dengan kebutuhan tiap-tiap perlakuan. Tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dipotong kecil-kecil dengan

menggunakan pisau, kemudian dihaluskan dengan *blender*. Proses pencampuran masing-masing bahan dilakukan di dalam ember. Bahan tersebut kemudian diencerkan dengan menambahkan air sebanyak 7,2 liter. Pemberian bioaktivator *EM-5* dalam volume bahan baku adalah 1mL/1L bahan baku. Bahan baku kemudian diaduk sampai homogen. pH awal diukur menggunakan pH meter, jika pH bahan baku tidak berada pada kisaran $6 < \text{pH} < 8$, maka dapat ditambahkan dengan air kapur. Bahan baku yang telah homogen tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam *digester* dan ditutup rapat. Selama proses degradasi anaerob berlangsung dilakukan pengadukan dengan cara menggoncangkan galon setiap 2 hari sekali, hal ini dilakukan agar tidak terjadi penggumpalan atau terbentuk lapisan kerak pada bahan baku.

Tahap Pengukuran Tekanan, Lama Waktu Nyala Api, Rasio C/N Akhir.

Pengamatan dan pengukuran tekanan biogas dilakukan sejak hari ke-1 sampai hari ke-30, sedangkan lama waktu nyala api dan rasio C/N dilakukan pada hari ke-30. Biogas dinyalakan dengan cara membuka kran gas dan segera mendekatkan sebatang korek api yang telah menyala pada ujung pemantik gas (tempat keluar biogas). Lama waktu nyala api diukur sejak api mulai menyala sampai api padam. Penghitungan rasio C/N dengan menggunakan metode *Walkey-Black* dan *Mikro-Kjeldahl*.

Teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Varian (Anava) Tunggal untuk menguji adanya perbedaan penggunaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap tekanan biogas, lama waktu nyala api, dan rasio C/N akhir. Uji lanjut berupa DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) 5% digunakan untuk menentukan perlakuan yang memiliki potensi paling baik berdasarkan tekanan biogas, lama waktu nyala api, dan rasio C/N akhir yang dihasilkan.

HASIL & PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh perbedaan penggunaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi terhadap tekanan biogas, lama waktu nyala api, dan rasio C/N akhir.

Perbedaan Penggunaan Tongkol Jagung, Kelaras Pisang, dan Kulit Pisang dengan Penambahan Kotoran Sapi terhadap Tekanan Biogas yang Dihasilkan

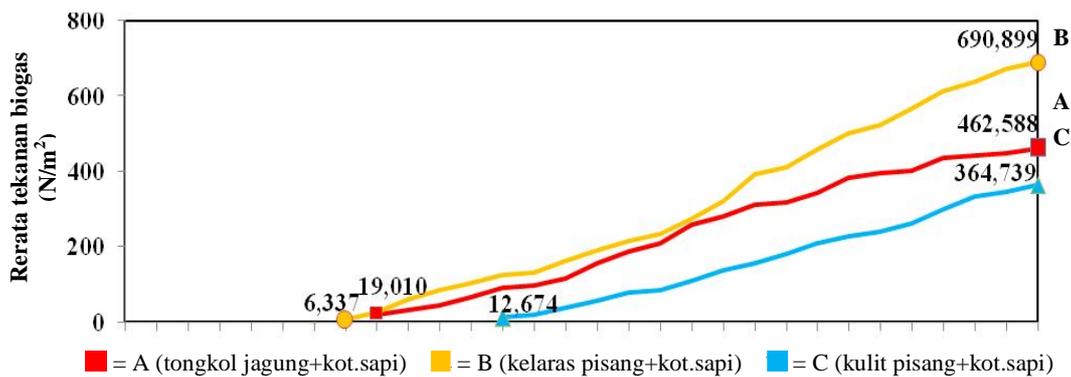
Biogas yang dihasilkan selama proses degradasi anaerob ditampung di dalam balon penampung biogas. Tekanan biogas yang dihasilkan sejak hari ke-1 hingga hari ke-30 diukur setiap hari menggunakan manometer air. Rerata tekanan biogas dari ketiga perlakuan A, B, dan C disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa rerata tekanan biogas pada perlakuan A sebesar 462,588 N/m², pada perlakuan B sebesar 690,899 N/m², sedangkan pada perlakuan C sebesar 364,739 N/m². Pembentukan biogas selama proses degradasi anaerob menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan pada perlakuan A, B, dan C mulai terbentuk pada hari yang berbeda-beda. Waktu mulai terbentuk biogas dapat diketahui dari munculnya tekanan biogas yang pertama kali terdeteksi oleh manometer air. Tekanan biogas yang dihasilkan mulai dari hari pertama biogas terbentuk sampai hari terakhir (hari ke-30) proses degradasi anaerob diperlihatkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa biogas mulai terbentuk pada perlakuan A di hari ke-9, perlakuan B di hari ke-8, dan perlakuan C di hari ke-13. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan biogas terjadi paling cepat pada perlakuan B. Tekanan biogas terus mengalami peningkatan sejak hari pertama biogas terbentuk sampai hari ke-30 proses degradasi anaerob. Semakin lama proses degradasi anaerob berlangsung maka semakin besar tekanan biogas yang

Tabel 1. Rerata Hasil Pengukuran Tekanan Biogas pada Hari ke-30 (N/m²)

	Perlakuan	Tekanan biogas pada ulangan ke-			Σ	Rerata (N/m ²)
		1	2	3		
A	tongkol jagung + kot. sapi	429,972	508,250	449,541	1387,763	462,588
B	kelaras pisang + kot. sapi	703,946	625,667	743,085	2072,698	690,899
C	kulit pisang + kot. sapi	390,832	292,984	410,402	1094,218	364,739



Gambar 2. Grafik Tekanan Biogas yang Dihasilkan Selama Proses Degradasi Anaerob

dihasilkan. Tekanan biogas yang semakin besar mengindikasikan bahwa biogas yang dihasilkan juga semakin banyak.

Pada perlakuan kelaras pisang dengan penambahan kotoran sapi dihasilkan tekanan biogas paling tinggi yaitu sebesar 690,899 N/m². Menurut Harahap (2007), tekanan biogas yang tinggi selama proses degradasi anaerob terjadi pada bahan baku yang memiliki tekstur mudah terurai sehingga lebih cepat menghasilkan gas. Komposisi lignoselulosa pada kelaras pisang didominasi oleh selulosa dan hemiselulosa. Kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi pada bahan baku dapat menghasilkan produk monosakarida yang tinggi pula, karena struktur kedua polimer tersebut tersusun atas monomer gula sederhana yang mudah diuraikan (Rachmaniah dkk., 2012). Pada perlakuan ini dihasilkan biogas paling cepat dibandingkan perlakuan lainnya yaitu sejak hari ke-8. Mikroorganisme perombak telah mampu menyesuaikan diri dengan lingkungannya, sehingga sel dapat membelah dan mengalami pertumbuhan secara eksponensial. Pada fase eksponensial, laju pertumbuhan sel akan meningkat seiring dengan kemampuannya dalam mendegradasi lignoselulosa, hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme perombak mampu menguraikan selulosa dan hemiselulosa yang terkandung di dalam kelaras pisang dengan cepat sehingga menghasilkan tekanan biogas yang tinggi.

Pada perlakuan tongkol jagung dengan penambahan kotoran sapi dihasilkan tekanan biogas sebesar 462,588 N/m², sedangkan pada perlakuan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi dihasilkan tekanan biogas sebesar 364,739 N/m². Hasil uji DMRT 5% membuktikan bahwa tidak ada perbedaan tekanan biogas yang signifikan antara perlakuan tongkol jagung dengan perlakuan kulit pisang. Berdasarkan komposisi lignoselulosa pada tongkol jagung dan kulit pisang, kedua bahan baku tersebut selain memiliki kandungan selulosa dan hemiselulosa juga mengan-

dung lignin. Lignin mampu mengeraskan mikrofibril selulosa dan secara kovalen strukturnya terikat dengan hemiselulosa (Vattamparambil, 2012). Lignin mengikat selulosa dan hemiselulosa secara fisik dan kimia, sehingga menghalangi selulase dan hemiselulase untuk bekerja maksimal pada substrat (Meryandini, 2009). Keberadaan lignin dapat menghalangi atau memperlambat akses enzim akibatnya substrat menjadi sulit terdegradasi (Samsuri dkk., 2007; Kaparaju dkk., 2009). Pembentukan biogas pada perlakuan tongkol jagung dan kulit pisang terjadi lebih lambat dibandingkan pada perlakuan kelaras pisang. Pembentukan biogas pada perlakuan tongkol jagung terjadi sejak hari ke-9, sedangkan pada perlakuan kulit pisang terjadi sejak hari ke-13. Proses pembentukan biogas berjalan lambat dikarenakan bahan baku pada dua perlakuan tersebut mengandung lignin yang sulit diuraikan. Tekanan biogas pada perlakuan tongkol jagung dan perlakuan kulit pisang menunjukkan nilai yang hampir sama, hal ini menyebabkan tekanan biogas yang dihasilkan tidak berbeda secara signifikan dalam analisis statistik.

Perbedaan Penggunaan Tongkol Jagung, Kelaras Pisang, dan Kulit Pisang dengan Penambahan Kotoran Sapi terhadap Lama Waktu Nyala Api Biogas yang Dihasilkan

Lama waktu nyala api yang diukur merupakan total waktu mulai dari api menyala sampai api padam. Lama waktu nyala api yang dihasilkan dari ketiga perlakuan campuran bahan baku, yaitu perlakuan A berupa tongkol jagung dengan kotoran sapi, perlakuan B berupa kelaras pisang dengan kotoran sapi, dan perlakuan C berupa kulit pisang dengan kotoran sapi disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 diketahui rerata lama nyala api pada perlakuan A sebesar 149 detik, pada perlakuan

an B sebesar 216,667 detik, sedangkan pada perlakuan C sebesar 94,333 detik. Terdapat perbedaan lama waktu nyala api yang signifikan antara perlakuan kelaras pisang, tongkol jagung, dan kulit pisang. Pada perlakuan kelaras pisang dihasilkan lama waktu nyala api paling tinggi karena mampu menghasilkan biogas paling banyak dibandingkan perlakuan tongkol jagung maupun kulit pisang. Lama waktu nyala api yang tinggi pada perlakuan kelaras pisang didukung dengan kualitas fisik biogas yang baik, hal ini ditunjukkan dengan dihasilkannya warna nyala api yang berwarna biru. Nyala api yang berwarna biru memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan nyala api yang berwarna kuning atau merah, karena relatif tidak menyebabkan alat-alat dapur mudah hangus atau rusak akibat dipanaskan dengan api tersebut.

Pada perlakuan kulit pisang dihasilkan lama waktu nyala api yang lebih rendah dibandingkan perlakuan kelaras pisang dan perlakuan tongkol jagung, hal ini disebabkan biogas yang dihasilkan lebih sedikit terbukti saat biogas dinyalakan dihasilkan lama waktu nyala api yang rendah. Hasil uji DMRT membuktikan ada perbedaan lama waktu nyala api yang signifikan antara perlakuan tongkol jagung dengan perlakuan kulit pisang. Hal ini dipengaruhi oleh komposisi kandungan lignin pada kedua perlakuan tersebut. Lignin memiliki rantai karbon yang panjang, sehingga apabila terurai dapat menghasilkan energi yang tinggi. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung pada konsentrasi gas metana atau CH_4 (Badrussalam, 2008). Tongkol jagung mengandung lignin yang lebih banyak dibandingkan kulit pisang sehingga apabila terdegradasi dapat menghasilkan gas metana yang lebih tinggi. Kandungan gas metana yang lebih tinggi tersebut memiliki energi panas yang lebih besar, sehingga saat dinyalakan dapat menghasilkan lama waktu nyala api yang lebih tinggi pula. Pengamatan secara visual pada perlakuan tongkol jagung dan kulit pisang menunjukkan bahwa keduanya menghasilkan warna nyala api yang berwarna biru kekuningan.

Pengaruh Perbedaan Penggunaan Tongkol Jagung, Kelaras Pisang, dan Kulit Pisang dengan Penambahan Kotoran Sapi terhadap Rasio C/N Akhir yang Dihasilkan

Rasio C/N akhir dihitung pada hari terakhir proses degradasi anaerob berlangsung, yaitu hari ke-30. Rasio C/N akhir yang dihasilkan dari ketiga perlakuan campuran bahan baku, yaitu perlakuan A berupa tongkol jagung dengan kotoran sapi, perlakuan B berupa kelaras pisang dengan kotoran sapi, dan perlakuan C berupa kulit pisang dengan kotoran sapi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan rerata rasio C/N akhir dari yang paling kecil sampai yang paling besar berturut-turut ialah pada perlakuan kelaras pisang sebesar 4,705/1, pada perlakuan tongkol jagung sebesar 9,655/1, dan pada perlakuan kulit pisang sebesar 16,028/1. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kemampuan mikroorganisme perombak dalam mendegradasi bahan baku sehingga terjadi penurunan kadar karbon dan nitrogen.

Kemampuan mikroorganisme perombak untuk menghasilkan biogas dipengaruhi oleh penambahan kotoran sapi (Harahap, 2007). Penambahan kotoran sapi pada masing-masing perlakuan bertujuan untuk mengoptimalkan rasio C/N sebesar 30/1, selain itu kotoran sapi merupakan bioaktivator alami yang mengandung mikroorganisme perombak lignoselulosa (Soetopo dan Endang, 2008). Pada penelitian ini, optimasi proses degradasi anaerob dipercepat secara biologi. Perlakuan secara biologi dilakukan dengan menggunakan enzim yang disekresikan oleh bioaktivator. Bioaktivator alami diperoleh dari kotoran sapi sedangkan bioaktivator buatan berupa *Effective Microorganism-5* (EM-5). EM-5 merupakan larutan mengandung kultur campuran mikroorganisme perombak yang terdiri dari kapang, bakteri, *Actinomyces*, dan khamir. Penelitian yang dilakukan Hartanto (2009) telah membuktikan bahwa pemberian EM-5 dapat menghasilkan lebih banyak biogas, yaitu sebe-

Tabel 2. Rerata Hasil Pengukuran Lama Waktu Nyala Api pada Hari ke-30 (detik)

	Perlakuan	Lama waktu nyala api pada ulangan ke-			Σ	Rerata (detik)
		1	2	3		
A	tongkol jagung + kot. sapi	139	164	144	447	149
B	kelaras pisang + kot. sapi	216	199	235	650	216,667
C	kulit pisang + kot. sapi	92	88	103	283	94,333

Tabel 3. Rerata Hasil Pengukuran Rasio C/N Akhir pada Hari ke-30

Perlakuan	Rasio C/N akhir pada ulangan ke-			Σ	Rerata
	1	2	3		
A tongkol jagung + kot. sapi	10,019/1	8,967/1	9,980/1	28,966/1	9,655/1
B kelaras pisang + kot. sapi	4,977/1	5,113/1	4,025/1	14,115/1	4,705/1
C kulit pisang + kot. sapi	15,315/1	17,967/1	14,801/1	57,083/1	19,028/1

sar 25,71% dibandingkan tanpa menggunakan *EM-5*. Pada masing-masing perlakuan, penambahan *EM-5* diberikan dalam volume yang sama yaitu sebanyak 48 mL, sedangkan penambahan kotoran sapi diberikan dalam jumlah yang berbeda agar terpenuhi keseimbangan rasio C/N=30/1.

Pada perlakuan A, campuran bahan baku terdiri dari 2,690 kg tongkol jagung ditambahkan kotoran sapi sebanyak 2,110 kg. Pada perlakuan B, campuran bahan baku terdiri dari 2,424 kg kelaras pisang ditambahkan kotoran sapi sebanyak 2,376 kg. Pada perlakuan C, campuran bahan baku terdiri dari 4,554 kg kulit pisang ditambahkan kotoran sapi sebanyak 0,246 kg. Pada perlakuan C, penambahan kotoran sapi dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan pada perlakuan A dan B, sehingga mengakibatkan ketidakseimbangan kuantitas bahan baku yang diuraikan oleh mikroorganisme perombak. Jumlah mikroorganisme yang sedikit dengan jumlah bahan baku yang banyak, mengakibatkan penguraian karbon dan nitrogen berjalan lambat (tidak seimbang). Rendahnya kemampuan mikroorganisme perombak pada perlakuan C, yaitu kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi juga dipengaruhi oleh kandungan komponen lignin yang sulit diuraikan. Keberadaan lignin dalam kulit pisang menghambat proses degradasi karbon dan nitrogen.

Proses Pembentukan Biogas

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan melalui teknologi ramah lingkungan. Teknologi yang digunakan ialah dengan cara mengkonversi biomassa yang senantiasa tersedia melimpah di alam menjadi energi panas/kalor melalui proses degradasi anaerob secara biologis. Komponen biogas meliputi: CH_4 (metana) $\pm 60\%$, CO_2 (karbondioksida) $\pm 38\%$, (N_2 , O_2 , H_2 , dan H_2S) $\pm 2\%$ (Kresnawaty dkk., 2008; Ditjen PPHP, 2009a). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung pada kandungan metana, semakin tinggi kandungan metana maka semakin tinggi kandungan energinya (nilai kalor), dan sebalik-

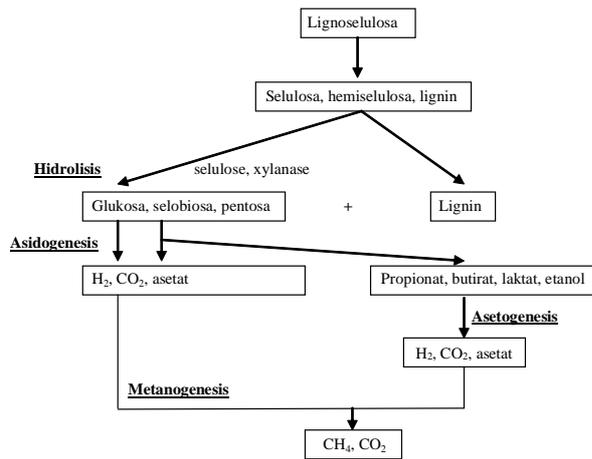
nya semakin kecil kandungan metana maka semakin kecil kandungan energinya (Badrussalam, 2008; Said, 2008).

Biogas dihasilkan dari proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme perombak pada lingkungan tanpa oksigen bebas sehingga disebut degradasi anaerob. Bahan organik yang melimpah di alam dan belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai bahan baku biogas ialah lignoselulosa. Degradasi lignoselulosa secara alami berjalan lambat dan hanya dapat dilakukan oleh sedikit mikroorganisme dikarenakan struktur polimer penyusunnya yang kompleks dan heterogen (Murni dkk., 2008). Degradasi lignoselulosa melibatkan aktivitas sejumlah enzim ekstrasel yang disekresikan oleh mikroorganisme perombak seperti kapang, bakteri, *Actinomyces*, dan khamir (Kanti, 2007; Lelana, 2010). Proses degradasi lignoselulosa dalam kondisi anaerob meliputi delignifikasi untuk melepaskan selulosa dan hemiselulosa dari ikatan kompleks lignin dan depolimerisasi untuk mendapatkan gula sederhana (Anindyawati, 2010). Tahap pembentukan biogas secara keseluruhan ditunjukkan Gambar 3.

Proses degradasi anaerob untuk pembentukan biogas terdiri dari 4 tahap sebagai berikut.

Hidrolisis

Hidrolisis merupakan proses penguraian lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Vattamparambil, 2012). Degradasi selulosa dapat dilakukan oleh berbagai mikroorganisme perombak seperti kapang, bakteri, *Actinomyces*, dan khamir yang bekerja secara sinergis. Contoh kapang selulolitik ialah *Trichoderma harzianum*, *Aspergillus fumigatus*, dan *Phanerochaete chrysosporium*, sedangkan bakteri selulolitik ialah *Pseudomonas cellulosa*, *Clostridium acetobutylicum*, dan *Acidothermus cellulolyticus*. *Actinomyces* yang mampu mendegradasi selulase ialah dari jenis *Streptomyces lividans*, *Streptomyces celluloflavus*, dan *Thermomonospora mesophila*, sedangkan contoh khamir selulolitik ialah *Cryptococcus sp.* (Kanti, 2005; Anin-



Gambar 3. Tahap Pembentukan Biogas dari Substrat Lignoselulosa

(Sumber: Gallert dan Winter, 2005)

dyawati, 2010). Titik pusat degradasi selulosa terletak pada pecahnya ikatan 1,4- β -glukosida oleh aktivitas selulase sehingga menyebabkan selulosa terhidrolisis menjadi senyawa sederhana yaitu monosakarida (Soepraniandono dkk., 2007). Sistem enzim selulolitik pada kapang terdiri dari tiga enzim utama, yaitu endo-1,4- β -glukanase, ekso-1,4- β -glukanase atau selobiohidrolase, dan β -glukosidase. Proses degradasi selulosa diawali dengan aktivitas endo-1,4- β -glukanase yang menghidrolisis bagian amorf selulosa. Selobiohidrolase (CBH) terdiri atas CBH I yang bekerja pada ujung pereduksi dan CBH II yang bekerja pada ujung non-pereduksi menghasilkan selobiosa. Proses selanjutnya β -glukosidase akan memecah selobiosa dengan memotong ikatan 1,4- β -glukosida menjadi monomer-monomer glukosa (Enari, 1983; Perez dkk., 2002).

Degradasi hemiselulosa diperankan oleh mikroorganisme hemiselulolitik. Beberapa kelompok mikroorganisme selulolitik juga mempunyai aktivitas hemiselulolitik yang tinggi, yaitu *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Neurospora*, *Fusarium*, *Aspergillus*, dll. (Anindyawati, 2010). Berbeda dengan selulosa yang merupakan homopolimer dengan monomer-monomer glukosa, rantai utama hemiselulosa berupa heteropolimer seperti glukuronoxilan dan glukomannan (Hermiati dkk., 2010). Degradasi glukuronoxilan melibatkan endoxilanase, asetilxilan-esterase, α -glukurononidase, β -xilosidase, dan α -arabinase yang menghidrolisis ikatan β -1,4 xilan menjadi monomer xilosa dan arabinosa. Degradasi glukomannan yang membutuhkan beberapa enzim yaitu endomannase, α -galaktosidase, asetilglukomannan-

esterase, β -mannosidase, dan β -glukosidase yang menghidrolisis ikatan β -1,4 mannan menjadi monomer mannososa dan glukosa (Perez dkk., 2002).

Bakteri dan *Actinomycetes* mempunyai kemampuan mendegradasi lignin tetapi sangat rendah. Degradasi lignin didominasi oleh kapang lignolitik, contohnya pada *Phanerochaete chrysosporium*. Kapang menghasilkan dua enzim peroksidase, yaitu lignin peroksidase (LiP) dan manganes peroksidase (MnP) yang mempunyai peranan penting dalam proses perombakan lignin (Dashtban dkk., 2010).

LiP merupakan katalisator utama dalam proses delignifikasi dengan cara memecah unit non fenolik yang menyusun sekitar 90% struktur lignin. Oksidasi lignin yang dikatalis oleh LiP dimulai dengan pemisahan satu elektron cincin aromatik substrat donor menghasilkan radikal kation aril. MnP mengoksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{3+} yang berperan dalam pemutusan unit fenolik lignin menjadi radikal alifatik. Degradasi lignin juga membutuhkan lakase (Lac). Enzim ini disekresikan oleh kapang, khamir, dan bakteri. Lakase mereduksi substrat fenolik membentuk radikal fenoksil. Perubahan molekul lignin secara keseluruhan akan mengakibatkan terjadinya depolimerisasi dan akhirnya terbentuk CO_2 (Murni, 2008).

Beberapa kapang ada yang memiliki kemampuan mendegradasi semua polimer lignoselulosa secara efektif, contohnya *Trametes versicolor* dan *Fomes fomentarius*. Kapang ini dapat mendegradasi lignin lebih cepat dan ekstensif dibandingkan mikroorganisme lain. Mikroorganisme selulolitik, hemiselulolitik, dan lignolitik bekerja secara sinergis dalam mendegradasi lignoselulosa. Menurut Martina (2002), selobiohidrolase yang disekresikan oleh mikroorganisme selulolitik dapat mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} menghasilkan hidroksi radikal yang sangat reaktif menyerang lignin. Selobiohidrolase merupakan enzim yang diperlukan dalam degradasi lignin karena meningkatkan aktivitas mikroorganisme lignolitik.

Asidogenesis

Monomer-monomer monosakarida hasil hidrolisis selanjutnya mengalami penguraian membentuk asam lemak volatil (propionat, butirrat), alkohol, karbondioksida, dan hidrogen. Mikroorganisme asidogenik didominasi oleh bakteri dan khamir (Manurung, 2004). Tahap ini diperankan oleh bakteri asidogenik, contohnya *Bacteroides ruminicola*, *Clostridium butyricum*, dan *Lactobacillus fermentum*. Khamir *Saccharomyces cerevisiae* mampu memfermentasi glukosa menjadi etanol.

Asetogenesis

Pada tahap asetogenesis produk asidogenesis diuraikan menjadi asam asetat (CH_3COOH), hidrogen (H_2), dan karbondioksida (CO_2) (Evans dan Furlong, 2003). Bakteri yang berperan pada tahap ini contohnya *Syntrophobacter sp.*, *Clostridium acetium*, dan *Acetobacterium woodii*. Sebagian bakteri asidogenik juga dapat berperan sebagai bakteri aseta-genik, contohnya *Clostridium propionicum* dan *Clostridium butyricum*, karena keduanya menghasilkan asam volatil (asam propionat, asam butirat) dan juga asam asetat.

Metanogenesis

Metanogenesis merupakan tahap terakhir degradasi anaerob untuk menghasilkan metana dengan melibatkan dua macam kelompok bakteri, yaitu bakteri metanogen hidrogenotropik dan bakteri metanogen asetotropik. Pembentukan metana oleh bakteri metanogen hidrogenotropik yaitu dengan menggunakan H_2 dari reaksi asetogenesis untuk mereduksi CO_2 menjadi CH_4 dan H_2O , sedangkan pembentukan metana oleh bakteri metanogen asetotropik yaitu dengan menguraikan asam asetat menjadi CO_2 dan CH_4 (Evans dan Furlong, 2003).

SIMPULAN & SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh simpulan bahwa penggunaan tongkol jagung, kelaras pisang, dan kulit pisang dengan penambahan kotoran sapi memberikan pengaruh yang berbeda satu sama lain terhadap tekanan biogas, lama waktu nyala api, dan rasio C/N akhir yang dihasilkan. Perlakuan menggunakan kelaras pisang dengan penambahan kotoran sapi menunjukkan potensi paling baik dalam menghasilkan biogas.

Saran

Saran-saran yang diajukan sebagai pertimbangan untuk penelitian selanjutnya bagi peneliti ialah perlu dilakukan pengujian berbagai jenis sampah organik lainnya yang memiliki potensi yang baik sebagai bahan baku biogas dengan mengembangkan alat pembuat biogas (*digester*) yang memberikan hasil yang berkelanjutan sehingga dapat diperoleh biogas secara maksimal. Bagi masyarakat, perlu dilakukan kegiatan

penerapan teknologi biogas pada skala domestik sebagai bahan bakar alternatif, untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat sampah dan kenaikan harga BBM yang membebani kebutuhan hidup masyarakat. Bagi peternak dan petani, perlu dilakukan kegiatan sosialisasi pemanfaatan limbah peternakan dan pertanian dengan teknologi *zero waste* sebagai bahan baku pembuatan biogas untuk bahan bakar alternatif.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, A., Syarfi, dan Atikalidia, M. 2011. *Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit*. Makalah disajikan dalam Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 22 Februari.
- Al Muhdar, M.H.I. 2011. *Pengelolaan Sampah Terpadu melalui Pendidikan Masyarakat Berbasis Pembangunan 6M*. Pidato Pengukuhan Guru Besar disajikan dalam Sidang Terbuka Senat, Universitas Negeri Malang (UM), Malang, 14 Desember.
- Anindyawati, T. 2010. Potensi Selulase dalam Mendegradasi Lignoselulosa Limbah Pertanian untuk Pupuk Organik. *Berita Selulosa*, 45 (2): 70-77.
- Ansar, M., dan Muslimin, L. 2010. *Daur Ulang dan Pemanfaatan Limbah*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Nonformal dan Informal.
- Badrussalam. 2008. *Membuat Biogas dari Sayuran Bekas*. Jakarta: Penerbit Bentara Cipta Prima.
- Balai Taman Nasional Baluran. 2010 *Evaluasi Bantuan Instalasi Biogas di Desa Wonorejo*. Laporan Kegiatan Pengendali Ekosistem Hutan.
- Banun, M.S. dan Gunawan. 2011. *Simsalabim! Daunpun jadi Uang. Membuat Energi Alternatif dari Sampah Daun*. Yogyakarta: Penerbit Lintang Aksara.
- Dashtban, M., Schraft, H., Syed, T.A., dan Qin, W. 2010. Fungal Biodegradation and Enzymatic Modification of Lignin. *Int. J. Biochem. Mol. Biol*, 1 (1): 36-50.
- Ditjen PPHP. 2009a. *Pemanfaatan Limbah dan Kotoran Ternak Menjadi Energi Biogas*. Jakarta: Departemen Pertanian RI.
- Ditjen PPHP. 2009b. *Petunjuk Pelaksanaan Kegiatan Pengelolaan Lingkungan (Pengembangan Biogas Limbah Ternak, Pengolahan Jarak Pagar, dan Pengolahan Kompos)*. Jakarta: Departemen Pertanian RI.

- Enari, T.M. 1983. Microbial Cellulases. Dalam Fogarty, W.M. (ed). *Microbial Enzymes and Biotechnology* (hlm. 183-223). England: Applied Science Publishers Ltd.
- Evans, G.M. dan Furlong, J.C. 2006. *Environmental Biotechnology*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Gallert, C. & Winter, J. 2005. Bacterial Metabolism in Wastewater Treatment Systems. Dalam Jordening, H.J. & Winter J (eds). *Environmental Biotechnology* (hlm.1-48). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KgaA.
- Kanti, A. 2005. Actinomycetes Selulolitik dari Tanah Hutan Taman Nasional Bukit Duabelas Jambi. *Biodiversitas*, 6 (2): 85-89.
- Kaparaju, P., Serrano, M., Thomsen, A.B., Kongjan, P., dan Angelidaki, I. 2009. Bioethanol, Biohydrogen, and Biogas Production from Wheat Straw in a Biorefinery Concept. *Bioresource Technology*, 100: 2562-2568.
- Kresnawaty, I., Susanti, I., Siswanto, dan Tripanji. 2008. Optimisasi Produksi Biogas dari Limbah Lateks Cair Pekat dengan Penambahan Logam. *Menara Perkebunan*, 76 (1): 23-35.
- Hamni, A. 2008. *Rancang Bangun dan Analisa Tekno Ekonomi Alat Biogas dari Kotoran Ternak Skala Rumah Tangga*. Makalah disajikan dalam Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian kepada Masyarakat. Lampung: Universitas Lampung.
- Harahap, I. E. 2007. *Uji Beda Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian terhadap Biogas yang Dihasilkan*. Skripsi tidak diterbitkan. Medan: Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T.C., Suparno, O., dan Prasetya, B. 2010. Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Litbang Pertanian*, 29 (4): 121-130.
- Lelana, N.E. 2010. *Biokonversi Selulosa: Suatu Tinjauan dalam Pemanfaatannya untuk Produksi Bioetanol*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Tanaman.
- Martina, A., Yuli, N., dan Sutisna, M. 2002. Optimasi Beberapa Faktor Fisik terhadap Laju Degradasi Selulosa Kay Albasia (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielse dan Karboksimetil selulosa (CMC) secara Enzimatis oleh Jamur. *Jurnal Natur Indonesia*, 4 (2): 156-163.
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*, (Online), (http://www.usu_repository), diakses 5 Desember 2011.
- Meryandini, A., Widosari, W., Maranatha, B., Sunarti, T.C., Rachmania, N., dan Satria, H. 2009. Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi Enzimnya. *Makara Sains*, 13 (1): 33-38.
- Murni, R., Suparjo, Akmal, dan Ginting. 2008. *Buku Ajar Teknologi Pemanfaatan Limbah untuk Pakan*. Jambi: Fakultas Peternakan Universitas Jambi.
- Perez, J., Dorado, J.M. Rubia, T.D.L., dan Martinez. J. 2002. Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose and Lignin: an Overview. *International Microbiology*, 5: 53-63.
- Rachmaniah, O., Krishnanta, A., dan Ricardo, D. 2012. *Acid Hydrolysis Pretreatment of Bagasse-Lignocellulosic Material for Bioethanol Production*. Surabaya: ITS.
- Said, S. 2008. *Membuat Biogas dari Kotoran Hewan*. Jakarta: Penerbit Bentara Cipta Prima.
- Samsuri, M., Gozan, M., Mardias, R., Baiquni, M., Hermansyah, H., Wijanarko, A., Prasetya, B., dan Nasikin, M. 2007. Pemanfaatan Selulosa Bagas untuk Produksi Etanol melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. *Makara Teknologi*, 11 (1): 17-24.
- Sibirian, R. 2008. Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Inkubasi EM4 terhadap Kualitas Kimia Kompos. *Jurnal Lingkungan Hidup*, 8 (1): 9-20.
- Soepraniondo, K., Nazar, D.S., dan Handiyatno, D. 2007. Potensi Jerami Padi yang di Amoniasi dan di Fermentasi Menggunakan Bakteri Selulolitik terhadap Konsumsi Bahan Kering, Kenaikan Berat Badan, dan Konversi Pakan Domba. *Media Kedokteran Hewan*, 23 (3): 202-205.
- Soetopo, R.S. dan Endang, R.C.C. 2008. Efektivitas Proses Pengomposan Limbah Sludge IPAL Industri Kertas dengan Jamur. *Berita Selulosa*, 43 (2): 93-100.
- Sudiran, F.I. 2005. Instrumen Sosial Masyarakat Karangmumus Kota Samarinda dalam Penanganan Sampah Domestik. *Makara Sosial Humaniora*, 9 (1): 16-26.
- Supadma, A.A.N. dan Arthagama, D.M. 2008. Uji Formulasi Kualitas Pupuk Kompos yang Bersumber dari Sampah Organik dengan Penambahan Limbah Ternak Ayam, Sapi, Babi, dan Tanaman Pahitan. *Jurnal Bumi Lestari*, 8 (2).
- Vattamparambil, S.R. 2012. Anaerobic Microbial Hydrolysis of Agriculture Waste for Biogas Production. *Journal of Computer Applications*, 25-27.