

PENGARUH PERLAKUAN AWAL SAMPAH ORGANIK TERHADAP PRODUKSI BIOGAS SECARA ANAEROBIC DIGESTION

Trisna Kumala Dhaniswara* dan Medya Ayunda Fitri

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo

*e-mail: trisnakumala@gmail.com

Abstract

The biggest problem currently in Indonesia is accumulated and uncontrolled of garbage amount everywhere, especially organic waste. There are also more methods to utilize waste. One of waste utilization is Biogas. Organic content in organic waste can be used as a substrate source for anaerobic bacteria. Initial treatment of organic waste in this study used as a variable, namely chopped and blended. This initial treatment was done before it was mixed with other materials, ie cattle dung and water. 200% water was added to the reactor along with other variables. Temperature, pH and biogas volume were observed for 30 days. Initial treatment factor of organic waste as biogas production substrate showed blend treatment with decay, it had higher biogas production than others. Biogas volume was resulted 189.99 cm³ with a composition ratio of 50% cattle dung and 50% organic waste.

Keywords: Biogas, Livestock Manure, Organic Waste.

Abstrak

Masalah terbesar saat ini yang ada di Indonesia adalah banyaknya sampah yang menumpuk dan tidak terkontrol dimanapun terutama sampah organik. Makin banyak pula metode untuk memanfaatkan limbah sampah. Salah satu pemanfaatan limbah sampah adalah Biogas. Kandungan organik yang terdapat dalam sampah organik dapat dijadikan sumber substrat bagi bakteri anaerobik. Perlakuan awal sampah organik dalam penelitian ini dijadikan sebagai variabel, yaitu dicacah dan diblender. Perlakuan awal ini dilakukan sebelum dicampurkan dengan bahan lain, yaitu kotoran ternak dan air. Air sebanyak 200% ditambahkan kedalam reaktor bersama dengan variabel lainnya. Temperatur, pH serta volume biogas diamati selama 30 hari. Faktor perlakuan awal sampah organik sebagai substrat produksi biogas menunjukkan perlakuan diblender dengan pembusukan yang memiliki produksi biogas lebih tinggi dibandingkan lainnya. Volume biogas yang dihasilkan yaitu 189,99 cm³ dengan perbandingan komposisi 50% kotoran sapi dan 50% sampah organik.

Kata kunci: Biogas, Kotoran Ternak, Sampah Organik.

1. PENDAHULUAN

Sampah organik sangat bermanfaat untuk pengembangan energi alternatif salah satunya adalah Biogas. Kandungan

yang terdapat dalam sampah organik dapat menjadi substrat bagi bakteri anaerobik pembentuk senyawa metana, yaitu bakteri metanogen.

Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan gas yang sebagian besar adalah berupa gas metan (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbon dioksida, gas inilah yang disebut biogas (Aulia, 2014).

Proses penguraian oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan-bahan organik terjadi secara anaerob. Proses anaerob adalah proses biologi yang berlangsung pada kondisi tanpa oksigen oleh mikroorganisme tertentu yang mampu mengubah senyawa organik menjadi metan (biogas). Proses ini banyak dikembangkan untuk mengolah kotoran hewan dan manusia atau air limbah yang kandungan bahan organiknya tinggi. Sisa pengolahan bahan organik dalam bentuk padat digunakan untuk kompos (Rohman, 2009).

Secara umum, proses anaerob terdiri dari empat tahap yakni: hidrolisis, pembentukan asam, pembentukan asetat dan pembentukan metan. Proses anaerob dikendalikan oleh dua golongan mikroorganisme (hidrolitik dan metanogen). Bakteri hidrolitik memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa sederhana diuraikan oleh bakteri penghasil asam (*acid-forming bacteria*) menjadi asam lemak dengan berat molekul rendah seperti asam asetat dan butirat. Selanjutnya bakteri metanogenik mengubah asam-asam tersebut menjadi metan (Rohman, 2009).

Limbah ternak (kotoran hewan) pada umumnya tidak dimanfaatkan dengan baik. Kotoran tersebut hanya ditumpuk dan dikeringkan saja. Hal ini juga terjadi pada sampah organik yang tidak

dilakukan pengolahan lagi. Menurut Aysia dkk, (2012), sampah sayuran merupakan buangan yang dibuang dengan cara *Open Dumping* tanpa adanya pengolahan kembali sehingga menimbulkan gangguan lingkungan serta bau yang tidak sedap. Kedua jenis sampah tersebut dapat dimanfaatkan kembali dengan pengolahan yang tepat sebagai bahan bakar alternatif yaitu biogas.

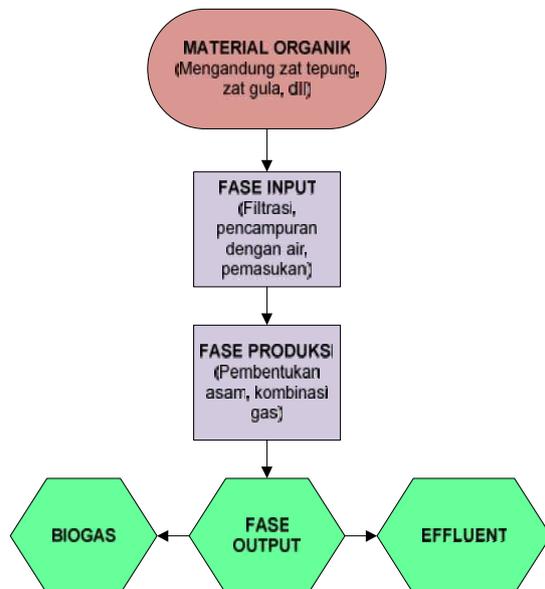
Biogas merupakan salah satu bentuk dari energi yang dihasilkan dari sampah dan merupakan energi terbarukan yang dibuat dari limbah organik berupa sampah (Bayuseno, 2009).

Tabel 1. Komposisi Biogas (%) Menggunakan Bahan Kotoran Sapi dan Campuran Kotoran Ternak

Jenis Gas	Kotoran Sapi	Campuran Kotoran + Sisa Pertanian
Metan (CH ₄)	65,7	54 - 70
Karbon dioksida (CO ₂)	27,0	45 - 57
Nitrogen (N ₂)	2,3	0,5 – 3,0
Karbon monoksida (CO)	0	0,1
Oksigen (O ₂)	0,1	6,0
Propena (C ₃ H ₈)	0,7	-
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	-	Sedikit
Nilai kalori (kkal/m ²)	6513	4800 – 6700

Komposisi biogas yang dihasilkan terdiri dari gas metana (55-65%), karbondioksida (35-45%), nitrogen (0-3%), hidrogen (0-1 %), dan hidrogen sulfida (0-1 %). Komposisi biogas

bervariasi tergantung dengan asal proses anaerobik yang terjadi. *Gas landfill* memiliki konsentrasi metan sekitar 50%, sedangkan sistem pengolahan limbah maju dapat menghasilkan biogas dengan 55-75% CH₄.



Gambar 1. Diagram Alir Produksi Biogas

Proses *anaerobic digestion* dapat mendegradasi sampah organik menjadi biogas tanpa kehadiran oksigen. Hasil dari *anaerobic digestion* tersebut adalah metana, karbon dioksida, hidrogen sulfida, ammonia, dan biomass baru. Dalam proses *anaerobic digestion* beberapa tipe dari bakteri mendegradasi senyawa organik secara bertahap dan dalam proses yang bersamaan. Proses *anaerobic digestion* dari polimer organik kompleks biasanya dibagi kedalam empat tahap yang saling terkait yaitu *hidrolisis*, *asidogenesis*, *asetogenesis*, dan *metanogenesis*.

Laju proses anaerob yang tinggi sangat ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi mikroorganisme, diantaranya yaitu temperatur, pH, salinitas dan ion kuat, nutrisi, inhibisi dan kadar

keracunan pada proses, dan konsentrasi padatan.

Bahan baku biogas berasal dari hasil fermentasi bahan-bahan organik diantaranya:

1. Limbah tanaman: tebu, rumput-rumputan, jagung, gandum, dan lain-lain,
2. Limbah dan hasil produksi: minyak, bagas, penggilingan padi, limbah sagu,
3. Hasil samping industri: tembakau, limbah pengolahan buah-buahan dan sayuran, dedak, kain dari tekstil, ampas tebu dari industri gula dan tapioka, limbah cair industri tahu,
4. Limbah perairan: alga laut, tumbuhan air,
5. Limbah peternakan: kotoran sapi, kotoran kerbau, kotoran kambing, kotoran unggas (Rohman, 2009).

Manfaat langsung biogas:

- Sebagai Sumber Energi untuk Memasak.

Biogas yang diproduksi oleh satu unit instalasi biogas dapat digunakan sebagai sumber energi untuk memasak. Untuk biogas yang menggunakan bahan baku kotoran dari 3-4 ekor sapi mampu menghasilkan biogas setara dengan tiga liter minyak tanah per hari, dan diperkirakan mampu untuk memenuhi energi memasak satu rumah tangga dengan lima orang anggota keluarga.

- Sebagai Sumber Energi untuk Penerangan.

Biogas sebagai sumber energi untuk penerangan dengan cara yang sama seperti pemanfaatan untuk memasak, artinya kompor sebagai titik akhir penggunaan biogas diganti dengan lampu. Lampu yang digunakan

adalah lampu yang dirancang khusus atau lampu petromaks yang dimodifikasi.

Pengalaman di lapangan menunjukkan bahwa pemanfaatan biogas untuk memasak sekaligus sebagai sumber penerangan, biasanya dilakukan dengan menggunakan minimal enam ekor sapi dengan model digester permanen bata kapasitasnya 9 m³ (Herawati, 2010).

- Penghasil Pupuk Organik Siap Pakai.

Manfaat lain dari penerapan biogas adalah dapat menyediakan pupuk organik siap pakai dalam jumlah banyak sesuai dengan kapasitas digester yang dibangun dan bahan baku yang digunakan. Kotoran ternak yang telah diproses dalam digester biogas dapat langsung digunakan sebagai pupuk organik dan kaya kandungan unsur Nitrogen (N).

Bahan baku biogas seperti kotoran ternak merupakan bahan organik yang mempunyai kandungan Nitrogen (N) tinggi disamping unsur C, H, dan O. Selama proses pembuatan biogas, unsur C, H, dan O akan membentuk gas metan (CH₄) dan CO₂, dan kandungan N yang ada masih tetap bertahan dalam sisa bahan, yang akhirnya akan menjadi sumber N bagi pupuk organik (Mujahidah, 2013).

Manfaat tidak langsung biogas:

- Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca.

Penerapan biogas dapat membantu pengembangan sistem pertanian dengan mendaur ulang kotoran hewan untuk memproduksi biogas dan diperoleh hasil samping berupa pupuk organik dengan mutu yang baik. Penerapan biogas dapat mengurangi

emisi gas metan (CH₄) yang dihasilkan pada dekomposisi bahan organik yang diproduksi dari sektor pertanian dan peternakan, karena kotoran sapi tidak dibiarkan terdekomposisi secara terbuka melainkan difermentasi menjadi energi biogas. Gas metan termasuk gas rumah kaca (*green house gas*), bersama dengan gas karbondioksida (CO₂) memberikan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya fenomena pemanasan global.

Pengurangan gas metan secara lokal dengan mengembangkan biogas dapat berperan positif dalam upaya penyelesaian masalah global efek rumah kaca, sehingga dapat diusulkan sebagai bagian dari program Internasional Mekanisme Pembangunan Bersih (*Clean Development Mechanism*).

- Membantu Program Pelestarian Hutan, Tanah, dan Air.

Meningkatnya harga BBM khususnya minyak tanah, akan mendorong masyarakat untuk mencari alternatif bahan bakar murah, salah satunya adalah kayu bakar. Hal ini sangat mungkin terjadi di masyarakat yang berdomisili di sekitar kawasan hutan dan perkebunan. Oleh karena itu, dengan menerapkan biogas sebagai sumber energi di suatu wilayah, maka penebangan pohon yang digunakan sebagai sumber energi oleh sebagian masyarakat dapat dikurangi, bahkan dihilangkan. Dengan kata lain, bahwa pengembangan biogas di suatu wilayah, secara tidak langsung dapat mendukung upaya pelestarian hutan atau perkebunan di wilayah tersebut.

- Mengurangi Polusi Bau.

Pengembangan biogas mempunyai sifat ramah lingkungan, disini mengandung pengertian, bahwa penerapan biogas dapat menghilangkan bau yang tidak sedap. Sebagai contoh, kotoran sapi yang awalnya mempunyai bau yang tidak sedap, setelah dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas, maka hasil akhir dari proses tersebut merupakan pupuk organik yang tidak berbau.

Demikian pula untuk daerah yang banyak terdapat industri pemrosesan makanan, misalnya tahu, tempe, dan ikan pindang akan menghasilkan limbah yang menyebabkan polusi bau yang mencemari lingkungan. Dengan penerapan biogas di daerah tersebut, maka limbah yang dihasilkan akan tidak mencemari lingkungan lagi, bahkan dapat dimanfaatkan sebagai energi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk memasak dan penerangan.

- Meningkatkan Sanitasi Lingkungan dan Keindahan.

Kotoran ternak dan limbah organik lainnya apabila tidak dikelola dengan baik dan berserakan dimanmana, maka akan dapat mengganggu keindahan dan berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat di sekitarnya. Disamping itu, terdapat kemungkinan bahwa kotoran ternak banyak mengandung bakteri *E.Coli* yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungannya. Dengan penerapan biogas, dampak negatif

tersebut dapat dikurangi atau dihilangkan.

- Meningkatkan Pendapatan Usaha Ternak.

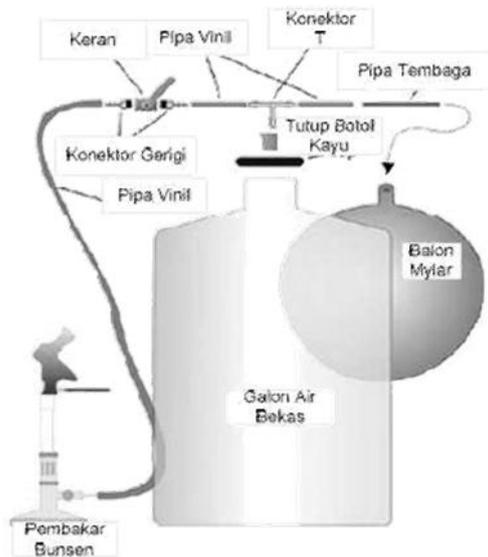
Pengembangan biogas dapat memberi peluang untuk menambah pendapatan dari hasil penjualan pupuk kompos hasil dari limbah unit biogas. Selain pendapatan dari pupuk organik, maka penerapan biogas menghasilkan gas metan yang mempunyai nilai ekonomis. Jika seorang peternak memelihara tiga ekor sapi perah, maka akan dihasilkan biogas setara dengan tiga liter minyak tanah sehari. Hal itu berarti peternak dapat memperoleh tambahan pendapatan dari penghematan penggunaan minyak tanah sebesar tiga liter per hari. Penerapan biogas dalam suatu kawasan, dapat mendukung kebijakan pemerintah untuk mengurangi subsidi BBM. Dengan penggunaan biogas, maka kebutuhan masyarakat akan minyak tanah akan berkurang, hal ini akan mengurangi beban pemerintah untuk mensubsidi BBM (Ward dkk, 2008).

2. METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan didalam penelitian ini adalah bak pencampur (reaktor biogas), pipa vinil, penampung gas yang terbuat dari balon, pembakar bunsen, dan *valve* seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Perlakuan awal bahan yaitu perlakuan untuk sampah organik dengan cara dicacah segar, dicacah fermentasi, blender segar, dan blender fermentasi. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran ternak (sapi), sampah

organik (yang telah diberi perlakuan), dan air. Mencampurkan kotoran ternak, sampah organik (yang telah diberi perlakuan), dan air dengan perbandingan sesuai dengan variabel yang ditentukan.



Gambar 2. Reaktor Biogas Sederhana

Variabel yang digunakan yaitu persentase kotoran sapi (%KS):persentase sampah organik (%SO) dengan variasi berikut: 100%:0%; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75%; 0%:100%, dan dengan pelarut air sebanyak 200%. Dalam penelitian ini kondisi yang ditetapkan adalah tekanan atmosferik, temperatur reaksi suhu ruang, bahan awal ditimbang dengan ratio 100% yang artinya 1 kg.

Tahapan penelitian ini yaitu pertama menyiapkan sampah organik dan kotoran ternak yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Sampah organik diblender atau dicacah sesuai dengan variabel dan perlakuan yang diinginkan. Kemudian kotoran ternak dan sampah organik dicampur air dengan perbandingan sesuai dengan variabel di bak pencampur. Intinya kotoran ternak dan sampah organik dicampur dengan air secukupnya sampai kotoran tidak lagi

menggumpal atau berbentuk padatan. Campuran dimasukkan kedalam botol kaca dengan mulut botol ditutup balon. Hari pertama sampai ke delapan, gas yang ada pada bak penampung dikeluarkan karena gas yang terbentuk adalah gas CO₂. Terbentuknya gas metan membutuhkan waktu 14 sampai 21 hari. Gas metan dari hasil fermentasi yang dihasilkan ditampung didalam balon.

Langkah terakhir yaitu analisis terhadap hasil yang ada. Analisis yang dilakukan yaitu pencatatan pH akhir dan perhitungan volume biogas yang dihasilkan.

3. HASIL DAN DISKUSI

Untuk hasil penelitian masing-masing variabel perlakuan awal dengan dicacah atau dibender seperti yang dirangkum pada Tabel 2, dengan perlakuan fermentasi sampah organik dibusukkan selama 10 hari terlebih dahulu.

Tabel 2. Hasil Penelitian Perlakuan Awal Sampah Organik

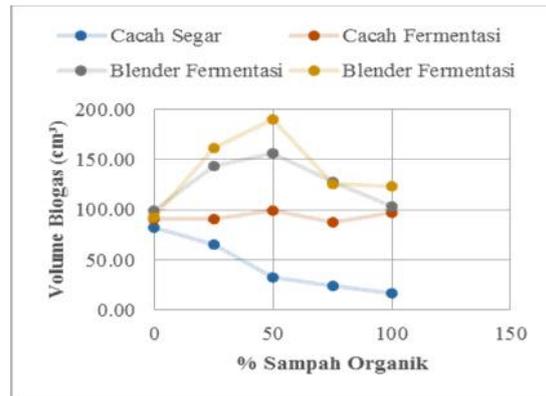
Perlakuan Awal Sampah Organik	% Kotoran Sapi (%KS)	% Sampah Organik (%SO)	pH	Volume Biogas (cm ³)
Cacah Segar	100	0	7,1	81,59
	75	25	6,4	65,42
	50	50	6,2	32,23
	25	75	5,7	24,39
	0	100	5,5	16,90
Cacah Fermentasi	100	0	7,2	90,59
	75	25	7,3	90,59
	50	50	7,1	98,58
	25	75	6,9	87,52
	0	100	6,7	96,95
Blender Segar	100	0	7,1	98,58
	75	25	7,1	143,51

Perlakuan Awal Sampah Organik	% Kotoran Sapi (%KS)	% Sampah Organik (%SO)	pH	Volume Biogas (cm ³)
	50	50	6,9	156,55
	25	75	6,8	127,28
	0	100	6,9	103,60
Blender Fermentasi	100	0	7,4	92,16
	75	25	7,3	161,06
	50	50	7,2	189,99
	25	75	7,4	125,34
	0	100	7,1	123,42

3.1 Perbandingan % Sampah Organik dengan Volume Biogas (cm³) Dilihat dari Perlakuan Awal Sampel.

Dalam Gambar 3 dapat dilihat bahwa biogas maksimal dihasilkan dengan perlakuan awal sampah organik diblender dan difermentasikan. Hal ini disebabkan karena bakteri metanogen berkembangbiak lebih cepat, sehingga dapat menghasilkan volume biogas paling maksimal yaitu, 189,99 cm³ pada komposisi 50% kotoran sapi dan 50% sampah organik perlakuan awal diblender dengan fermentasi. Dibandingkan dengan hanya dicacah dan pada kondisi sampah organik masih segar dengan dicacah yaitu 16,9 cm³ pada komposisi 100% kotoran sapi dan 0% sampah organik.

Perlakuan awal sampel sampah organik dengan difermentasikan lebih dahulu dapat menumbuhkan bakteri metanogen yang dapat digunakan sebagai substrat dalam pembuatan biogas. Setelah itu dengan perlakuan tambahan diblender, maka akan mempermudah makin berkembangnya bakteri metanogen sehingga dapat dihasilkan biogas secara maksimal.



Gambar 3. Perbandingan antara % Sampah Organik dan Volume Biogas (cm³).

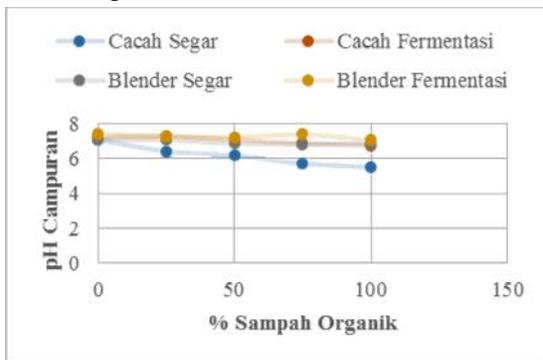
Hal yang paling penting dalam pencampuran bahan adalah menghilangkan unsur-unsur hasil metabolisme berupa gas (metabolites) yang dihasilkan oleh bakteri metanogen, mencampurkan bahan segar dengan populasi bakteri agar proses fermentasi merata, menyeragamkan temperatur di seluruh bagian pencernaan, menyeragamkan kerapatan sebaran populasi bakteri, dan mencegah ruang kosong pada campuran bahan (Rohman, 2009).

3.2 Perbandingan % Sampah Organik dengan pH Campuran Biogas Dilihat dari Perlakuan Awal Sampel.

Pada Gambar 4 menunjukkan hubungan antara % sampah organik dan pH campuran ditinjau dari perlakuan awal sampel. pH terbesar yaitu 7,4 pada perlakuan awal sampel diblender dan difermentasikan, sedangkan pH terendah yaitu 6,2 pada perlakuan awal sampel dicacah segar.

Pada dekomposisi anaerob faktor pH sangat berperan, karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian yang pada

akhirnya dapat menghambat perolehan gas metan. Bakteri anaerob membutuhkan pH optimal antara 6,6-7,5. Pada awalnya media mempunyai pH \pm 6 selanjutnya naik sampai 7,5. Tangki pencerna dapat dikatakan stabil apabila larutannya mempunyai pH 7,5-8,5. pH 6,2 merupakan batas pH terendah untuk pertumbuhan bakteri anaerob, dimana apabila pH < 6,2, maka pertumbuhan bakteri pembentuk biogas akan terhambat dikarenakan kondisi lingkungan menjadi *toxic* bagi bakteri tersebut.



Gambar 4. Perbandingan antara % Sampah Organik dan pH Campuran Biogas (cm³).

Pengaturan pH dapat dilakukan dengan menjaga umpan tidak terlalu asam serta mengendalikan jumlah pencampuran agar kesetimbangan reaksi antara tahap asidogenik dan metanogenik terjaga dengan baik. Pada kondisi tanpa bantuan penyeimbang pH, maka pada nilai pH dibawah 6 aktivitas bakteri metan akan mulai terganggu dan bila mencapai 5,5 aktivitas bakteri akan terhenti sama sekali. Konsentrasi pH di dalam reaktor ini sangat dipengaruhi oleh jumlah asam lemak volatile (VFA), ammonia, CO₂, dan kandungan alkalinitas bikarbonat yang dihasilkan.

Faktor pH sangat berperan pada dekomposisi anaerob karena pada rentang

pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metan. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganismenya adalah 6,8-7,8 (Felix dkk, 2012).

Pengolahan limbah secara biologis dibedakan menjadi dua proses, yaitu proses aerobik dan anaerobik. Pada proses aerobik, berlangsungnya proses sangat tergantung dari adanya oksigen, sedangkan dalam proses anaerobik justru sebaliknya karena oksigen akan menghambat jalannya proses.

Di dalam reaktor biogas, terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri asidogenik dan metanogenik. Kedua jenis bakteri ini diperlukan dalam jumlah yang berimbang. Bakteri jenis ini memanfaatkan bahan organik untuk memproduksi metan dan gas lain dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob. Mereka memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan mikro dalam reaktor seperti temperatur, keasaman dan jumlah material organik yang akan dicerna. Terdapat beberapa spesies metanogenik dengan berbagai karakteristik. Bakteri ini mempunyai beberapa sifat fisiologi yang umum, tetapi mempunyai morfologi yang beragam seperti *Methanomicrobium*, *Metanococcus*, dan *Methanoxiph* (Khalid dan Ahmad, 2015).

Pada tahap pembentukan gas metan, bakteri yang berperan adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis akan memanfaatkan hasil dari tahap kedua yaitu asetat, format, karbondioksida, dan hidrogen sebagai substrat untuk menghasilkan metan,

karbondioksida dan sisa-sisa gas seperti H₂S dan air.

Bakteri metanogenesis merupakan bakteri *obligat anaerobic* dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Berbeda dengan bakteri *acidogenesis* dan *acetogenesis*, bakteri *methanogenesis* termasuk dalam genus *Archaeobacter* yaitu kelompok bakteri yang mempunyai struktur morfologi yang sangat berbeda (heterogen), sifat biokimia yang umum dan sifat biologi melekul yang berbeda dengan bakteri lain.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menyatakan bahwa semakin halus sampah organik yang dicampurkan, maka semakin banyak biogas yang dihasilkan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan volume biogas yang dihasilkan yaitu 189,99 cm³ pada komposisi 50% kotoran sapi dan 50% sampah organik menggunakan perlakuan awal diblender dengan fermentasi. Perlakuan pembusukan atau fermentasi diperlukan untuk lebih meningkatkan kinerja bakteri pembentuk metan serta dapat berfungsi sebagai substrat. pH optimal untuk perkembangan bakteri metanogen dapat dicapai pada perlakuan awal yang diberikan dengan fermentasi atau pembusukan yaitu 7,4.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, Aldila. (2014). Teknologi Biogas. Departemen Badan Litbang Pertanian. Surabaya
- Aysia, D.A.Y., Panjaitan, T.W.S., dan Adiputra, Y.R. (2012). Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi dengan Metode Taguchi. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XV*. Surabaya.
- Bayuseno, A., P. (2009). Penerapan dan pengujian model teknologi anaerob digester untuk pengolahan sampah buah-buahan dari pasar tradisional. *Rotasi*. Vol. 11, No. 2: Hal.5.
- Felix, A., Paramita, S.B.U., dan Ikhsan, D. (2012). Pembuatan biogas dari sampah sayuran. *Jurnal teknologi kimia dan industri*, Vol. 1, No. 1: 103-108.
- Herawati, Astuti & A.A. Wibawa. (2010). Pengaruh pretreatment jerami padi pada produksi biogas dari jerami padi dan sampah sayur sawi hijau secara batch. *Jurnal rekayasa proses*. Vol.4. No.1.
- Khalid, S., Gulfraz, M., dan Ahmad, M.S. (2015). Optimization of conditions for biomethane production through anaerobic digestion of domestic fruit waste. *International journal of pharmaceutical chemistry*. Department of Biochemistry and Biotechnology. Pakistan.
- Mujahidah. (2013). Kajian Produksi Biogas dari Sampah Basah Rumah Tangga. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako, Palu.
- Rohman, Saepul. (2009). Pemanfaatan Limbah Ternak Ruminansia untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Skripsi Institut Pertanian Bogor*. Bogor.
- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., dan Jones, D.L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource technology*, Vol 99: 7928-7940.