

Pengaruh Kondisi Temperatur *Mesophilic* (35°C) Dan *Thermophilic* (55°C) *Anaerob Digester* Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas

Ardyanto Darmanto, Sudjito Soeparman, Denny Widhiyanuriawan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

E-mail: ardyanto_darmanto@yahoo.com

Abstract

Content energy of biogas is not less than energy derived from petroleum, horse manure can be used as a substrate for producing biogas. A substrate in horse manure bacteria containing framer metan which is in the animal body ruminants. Temperature is one of the important factors that affect on fermentation process. The aim of study was to find characterization production and composition content biogas from horse manure on condition temperature mesophilic (35°C) and thermophilic (55°C). Both of digester are running simultaneously by fermentation process for 15 days. The results obtained from the condition that generated the biogas production of thermophilic higher than the condition of mesophilic and conditions without heating. Biogas production optimum of each digester generated on day 8 for thermophilic conditions, day 10 for mesophilic conditions and day 11 for the conditions without heating. The highest result of biogas production was in thermophilic conditions (0.1411 kg). The highest percentage of methane gas production (CH_4) that produced by the thermophilic digester conditions (59.8%).

Keywords: biogas, mesophilic, thermophilic, horse manure.

PENDAHULUAN

Kotoran kuda dapat digunakan sebagai substrat untuk memproduksi biogas. Substrat dalam kotoran kuda mengandung bakteri pembentuk metan yang juga terdapat dalam tubuh hewan seperti kerbau, sapi, rusa, domba, kambing dan hewan lainnya. Kotoran kuda mempunyai kandungan karbon dan nitrogen yang lebih tinggi daripada kandungan karbon dan nitrogen pada kotoran sapi yang merupakan sumber energi bagi mikroorganisme [1]. Selain itu kotoran kuda memiliki prosentase kandungan selulosa, hemiselulosa, fosfat dan kalium yang lebih tinggi dibandingkan kandungan pada kotoran sapi, kecuali kandungan lignin pada kotoran sapi lebih tinggi dibandingkan kandungan lignin pada kotoran kuda [2].

Faktor penting yang mempengaruhi proses fermentasi untuk menghasilkan biogas dalam *digester anaerob* adalah temperatur[3]. Temperatur berperan penting dalam mengatur jalannya reaksi metabolisme bagi bakteri, temperatur lingkungan yang berada lebih tinggi dari temperatur yang dapat ditoleransi akan menyebabkan protein dan komponen sel esensial lainnya sehingga sel akan mati. Demikian pula bila temperatur lingkungannya berada di bawah batas toleransi, transportasi nutrisi akan terhambat dan proses kehidupan

sel akan terhenti, dengan demikian temperatur berpengaruh terhadap proses perombakan *anaerob* bahan organik dan produksi gas.

Pada penelitian produksi biogas dengan pencernaan *anaerob* dari silase limbah destilasi ethanol[4]. Penelitian dilakukan dengan kondisi *mesophilic* 35°C dan *thermophilic* 55°C, waktu perombakan *anaerob* 50 hari, substrat yang digunakan adalah gandum stillage dan stillage lignoselulosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi *thermophilic* bahan substrat gandum stillage menghasilkan produksi biogas yang tinggi.

Penelitian tentang produksi biogas pada kondisi *mesophilic* dan *thermophilic anaerob digester* dengan menggunakan bahan uji berupa sampah organik [5], penelitian dilaksanakan dengan membandingkan hasil produksi biogas pada kondisi *mesophilic* 35°C dan pada kondisi *thermophilic* 55°C dengan waktu tinggal selama 35 hari untuk masing – masing pengujian, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biogas pada kondisi *thermophilic* menghasilkan produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil produksi biogas pada kondisi *mesophilic*, serta kandungan metana dari hasil kondisi *thermophilic* lebih besar 2% dibandingkan produksi biogas pada kondisi *mesophilic*.

Penelitian pengaruh peningkatan temperatur dan penambahan urea pada perombakan *anaerob* terhadap produksi biogas dan nyala api, substrat yang digunakan adalah limbah rumah makan yang ditambahkan dengan inokulum, digester yang digunakan dengan volume 5 liter, yaitu 80% dari volume digester digunakan sebagai volume kerja, sedangkan sisanya 20% digunakan sebagai ruang udara, dengan temperatur fermentasi 35°C dan 50°C [3]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil nyala api dari fermentasi temperatur *thermophilic* pada awal fermentasi langsung menghasilkan nyala api yang besar dibandingkan dengan fermentasi pada temperatur *mesophilic* yang memerlukan waktu yang lebih lama untuk menghasilkan nyala api yang besar, serta produksi biogas yang tinggi dihasilkan dari proses fermentasi pada temperatur 50°C.

Penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan kotoran ternak seperti sapi, domba, ayam dan kotoran kuda pada temperatur kamar (Tanpa pemanasan). Penelitian ini menggunakan kotoran kuda sebagai substrat untuk menghasilkan biogas pada temperatur kondisi *mesophilic* (35°C) dan *thermophilic* (55°C), dengan perbandingan kotoran kuda dan air (1:2), serta menggunakan greenphosko (G7) sebagai bakteri starter.

METODE PENELITIAN

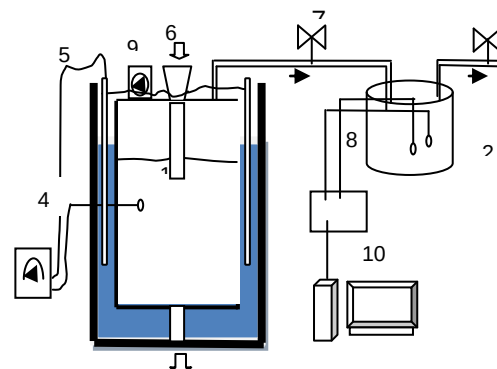
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental, data yang diperoleh merupakan hasil dari proses eksperimen dalam digester pada kondisi temperatur 35 dan 55°C, proses kedua digester secara bersamaan.

- a. Sistem yang digunakan untuk pembuatan biogas dalam penelitian ini adalah sistem *batch/curah*, yaitu penggantian bahan dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti.
- b. Bahan campuran feses kuda dan air dengan perbandingan 1:2 [6]. Kandungan air dalam substrat dan homogenitas akan mempengaruhi proses kerja bakteri, yang akan membantu proses penguraian, sedangkan homogenitas akan

membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih menyatu [3].

Digester dengan volume 30 liter, yaitu 70% dari volume digester digunakan untuk substrat campuran kotoran kuda dan air, sedangkan sisanya (30%) sebagai ruang udara.

- c. Pengisian digester. feses kuda dan air dicampur dan diaduk hingga rata sesuai berat /perbandingan, masukan substrat kedalam digester, tutup saluran masuk digester dan tutup katup keluar dari tanki penampungan gas, sehingga biogas yang terbentuk dapat mengalir ke tanki penampungan gas (Gambar 1).
- d. Jumlah masukan substrat 21 kg. Pada hari pertama dilakukan pengkondisian temperatur digester I pada (35°C) dan digester II pada (55°C) hingga akhir produksi.
- e. Starter. Penambahan starter dicampurkan pada substrat untuk meningkatkan jumlah populasi bakteri fermentasi yaitu Greenphosko (G7) 10 gram.



Gambar 1. Instalasi Penelitian

Keterangan gambar:

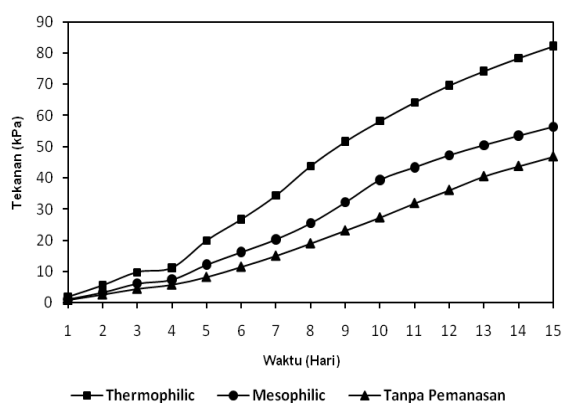
1. Digester (Ø 300 mm, L 420 mm, Vol 30 L)
2. Tabung penampung gas
3. Thermo kontrol
4. Thermo kopel
5. Heater
6. Saluran masuk substrat
7. Katup
8. Sensor pengukur tekanan dan termokopel (Tabung penampung gas)
9. Termometer payung (Digester)
10. Data logger dan komputer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan kotoran kuda sebagai bahan substrat untuk mengetahui karakterisasi produksi biogas dari kotoran kuda dengan kondisi temperatur digester pada kondisi *mesophilic* (35°C) dan *thermophilic* (55°C).

Berdasarkan data yang diperoleh (Gambar 2) diketahui bahwa produksi biogas yang ditunjukkan dari perubahan tekanan yang dihasilkan dari digester selama 15 hari pada kondisi *thermophilic* lebih tinggi dibandingkan produksi biogas pada kondisi *mesophilic*, maupun kondisi tanpa pemanasan.

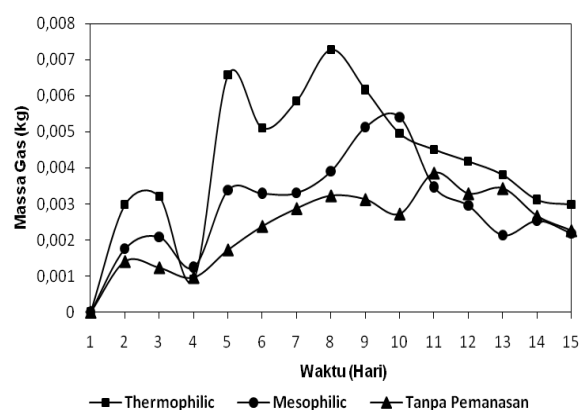
Kondisi temperatur pada masing-masing digester tidak hanya berpengaruh terhadap tingginya produksi biogas namun berpengaruh juga terhadap kecepatan waktu untuk menghasilkan produksi pada nilai optimum. Pada kondisi *thermophilic* produksi gas optimum diperoleh dalam waktu yang lebih singkat, sedangkan nilai optimum tekanan produksi gas pada kondisi *mesophilic* dan tanpa pemanasan membutuhkan waktu yang lebih lama beberapa hari dibandingkan dengan kondisi *thermophilic* (Gambar 2). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi temperatur berpengaruh terhadap produksi biogas dan kecepatan waktu menghasilkan biogas.



Gambar 2. Grafik hubungan waktu terhadap Perubahan tekanan biogas.

Hasil penelitian dengan variasi temperatur digester menunjukkan bahwa kondisi *mesophilic* dan *thermophilic* pada

sampel kotoran kuda yang di fermentasikan selama lima belas hari menunjukkan hasil produksi biogas yang berbeda, pada kondisi *thermophilic* produksi biogas lebih tinggi dibandingkan pada kondisi *mesophilic*. Hal ini dinyatakan juga oleh Demeyer et al.(1981), yang melakukan penelitian digester dua fase pada kondisi *mesophilic* dan *thermophilic* menyatakan bahwa pada kondisi *thermophilic* produksi gas yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi *mesophilic*.



Gambar 3. Grafik hubungan waktu terhadap produksi biogas/hari

Dari hasil penelitian pada gambar 3. Produksi yang dihasilkan digester perhari dapat diketahui bahwa pada digester *thermophilic* pada hari ke dua produksi gas yang dihasilkan sudah mengalami peningkatan dibandingkan digester *mesophilic* dan dilanjutkan pada hari ke 5 digester *thermophilic* (0,0066 kg) jauh melebihi produksi *mesophilic* (0,0034 kg) dan produksi gas pada kondisi tanpa pemanasan (0,0017 kg). Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi aktivitas bakteri sangat cepat dan aktif. Karakteristik bakteri *thermophilic* memiliki pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan bakteri pada kondisi *mesophilic* (20°C hingga 40°C), pembelahan membran sel dalam proses berkembang biak pada bakteri *thermophilic* lebih singkat. Dalam waktu yang relatif singkat bakteri dapat berkembang biak lebih banyak lagi yang akhirnya pada tahap hidrolisis ini (Hari ke 1

hingga ke 4) reaksi kimia pada tahap ini, enzim yang dihasilkan bakteri hidrolisis lebih banyak dan dapat merubah substrat (Karbohidrat, lemak dan protein) dan unsur-unsur lain yang terkandung pada kotoran kuda yang masih bersifat polimer (Karbohidrat, lemak dan protein). Selanjutnya diubah menjadi senyawa yang bersifat sederhana (Monomer) seperti asam organik, asam amino dan glukosa.

Dari data pada hasil produksi gas hari pertama hingga ke empat merupakan fase hidrolisis dimana selain menghasilkan produk asam organik, dan glukosa, proses hidrolisis menghasilkan senyawa CO_2 dan H_2 yang terbentuk hasil dari katabolisme karbohidrat (Gambar 6). Kadar CO_2 yang dihasilkan lebih tinggi pada kondisi *thermophilic* akibat dari kecepatan reaksi hidrolisis yang tinggi akibat populasi bakteri yang pesat hingga bakteri tersebut menghasilkan enzim sebagai biokatalisator untuk mendegradasi kandungan substrat menjadi senyawa asam organik dan glukosa.

Enzim dan temperatur merupakan salah satu kunci kecepatan pada reaksi biokimia pada proses, dimana jumlah dan konsentrasi enzim yang tinggi dapat mempercepat reaksi pada tahap hidrolisis. Sedangkan kenaikan temperatur menyebabkan tumbukan antar molekul terjadi lebih cepat [7].

Penelitian fermentasi lainnya menyatakan bahwa secara biologi proses fermentasi *anaerobic* sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu sebab *anaerob* sensitif terhadap operasi suhu dimana aktifitas bakteri atau mikroba bila diberi peningkatan suhu, bakteri akan aktif untuk berkembang biak dan mendegradasi substrat 2-3 kali lebih cepat dibandingkan dengan perkembangbiakan bakteri pada suhu ruang [8]. Pertumbuhan bakteri selain dipengaruhi oleh kondisi temperatur, tidak kalah pentingnya adalah jumlah nutrisi yang terkandung pada substrat, semakin tinggi nilai nutrisi pada substrat yaitu protein maka semakin tinggi populasi atau pertumbuhan bakteri, yang dapat menghasilkan enzim dalam jumlah yang tinggi dan memiliki konsentrasi yang tepat

dalam reaksi biokimia untuk mendegradasi substrat [9].

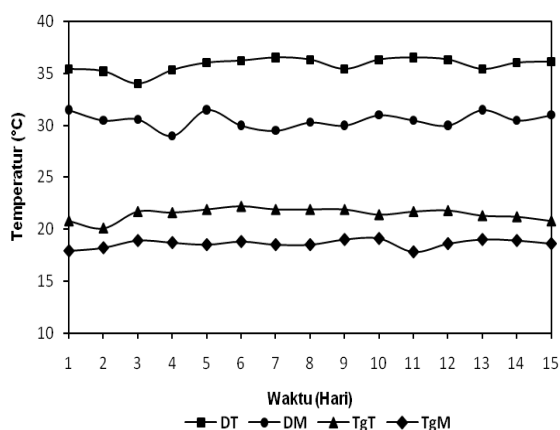
Pada hari ke 2 digester *mesophilic*, produksi gas yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan produksi gas yang dihasilkan oleh digester *thermophilic*, namun pada hari ke 3 dan seterusnya produksi gas yang dihasilkan oleh digester *mesophilic* dan digester tanpa pemanasan tidak setinggi produksi yang dihasilkan oleh digester *thermophilic*. Hal ini disebabkan karena pada hari pertama perkembangbiakan bakteri belum menunjukkan nilai yang signifikan, perkembangan biakan bakteri dapat terjadi dalam rentang waktu jam, dapat berkembang biak ribuan bahkan jutaan kali dari populasi sebelumnya.

Populasi bakteri yang lebih banyak pada kondisi *thermophilic* dapat menghasilkan enzim yang lebih banyak dan dengan konsentrasi enzim yang lebih tinggi dapat mempercepat laju reaksi biokimia dalam proses hidrolisis, dengan ditunjukan oleh produksi gas CO_2 yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi *mesophilic* (Gambar 6). Proses hidrolisis dilakukan oleh bakteri hidrolisis dimana bakteri tersebut bekerja untuk mendegradasi kandungan karbohidrat, lemak dan protein pada substrat sebagai makanan bakteri tersebut. Hasil reaksi kimia yang dihasilkan oleh bakteri hidrolisis, yang merupakan reaksi biokimia yang di katalisator oleh enzim yang dihasilkan bakteri hidrolisis berupa produk asam organik dan glukosa dan senyawa CO_2 dan H_2 akan diubah oleh bakteri asam menjadi alkohol dan asam asetat.

Aktivitas tertinggi bakteri pada kisaran temperatur 35°C hingga 55°C , diatas temperatur tersebut aktifitas menurun tajam hingga bakteri sama sekali tidak beraktifitas baik dalam pertumbuhannya maupun produksi asam asetat [10]. Asam asetat yang dihasilkan dari kisaran temperatur 35°C hingga 55°C menunjukkan hasil berbanding lurus terhadap kenaikan temperatur hingga produksi optimal pada temperatur 50°C dan mulai menurun setelah temperatur 55°C . Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik

antara lain adalah *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*. Bakteri asidogenik (Pembentuk asam) seperti *Clostridium*, bakteri asetogenik (Bakteri yang memproduksi asetat dan H₂) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomonas wolfei*.

Gambar 4. Menunjukkan bahwa temperatur gas pada digester *thermophilic* rata-rata berkisar antara 35°C, sedangkan pada digester *mesophilic* temperatur gas rata-rata berkisar pada 31°C. Sedangkan untuk temperatur substrat pada kedua digester konstant pada temperatur 35°C dan 55°C. Sedangkan temperatur gas pada penampung gas berkisar pada temperatur 2°C (*digester thermophilic*) dan °C (*Digester mesophilic*).



Gambar 4. Grafik hubungan temperatur gas terhadap waktu.

Keterangan :

Digester *thermophilic* (DT) dan *mesophilic* (DM), serta tabung penampung gas *thermophilic* (TgT) dan *mesophilic* (TgM).

Gambar 4. Menunjukkan bahwa temperatur gas pada digester *thermophilic* rata-rata berkisar antara 35°C, sedangkan pada digester *mesophilic* temperatur gasnya rata-rata berkisar pada 31°C (Gambar 1. Gambar tabung penampung gas). Sedangkan untuk temperatur substrat pada kedua digester konstant pada temperatur 35°C dan 55°C. Temperatur gas pada penampung gas berkisar pada

temperatur 20°C untuk digester *thermophilic* dan 18°C digester *mesophilic* (Gambar 1. Ruang digester pada bagian atas).

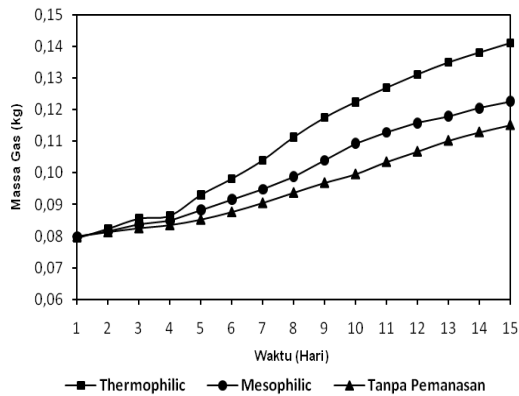
Temperatur berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme di dalam substrat, semakin tinggi temperaturnya (Temperatur optimum hidup bakteri) maka aktivitas mikroorganisme juga semakin meningkat [11]. Pada temperatur 55°C mikroorganisme seperti *Methanosarcinaceae* pada permukaan substrat mencapai 70-100% lebih banyak daripada di lapisan bawah atau di lapisan tengah. Pada temperatur tinggi (Kondisi *thermophilic*) pembelahan sel pada perkembangbiakan bakteri lebih cepat dibandingkan pembelahan sel pada perkembangbiakan bakteri pada kondisi *mesophilic* [12].

Penelitian pada digester temperatur tinggi, 50°C hingga 60°C [13] menyatakan bahwa bakteri *methanosarcina sp.* berkembang biak optimum pada temperatur 55°C hingga 58°C, sedangkan pada temperatur diatas 58°C perkembangbiakan bakteri menurun dan cenderung tidak aktif, pada temperatur tersebut produksi dan konsentrasi asam asetat yang dihasilkan sangat tinggi.

Pada fase asidifikasi berlangsung secara paralel mulai dari hasil phase hidrolisis, oleh bakteri asam hasil dari hidrolisis diubah menjadi etanol/alkohol, serta asam amino/asam organik diubah menjadi asam lemak/volatile fatty acid (VFA) yang terdiri atas asam butirat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) dan asam propionat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) dan pada phase selanjutnya asam butirat, propionat dan etanol diubah menjadi asam asetat (CH_3COOH) melalui kerja enzim sebagai biokatalisator.

Produk berupa asam asetat yang dihasilkan oleh bakteri asam akan langsung bereaksi dengan enzim yang dihasilkan oleh bakteri metanogen yang akan menghasilkan CH_4 dan CO_2 . Proses metanogen berjalan secara paralel ketika asam asetat sebagai produk dari proses asidifikasi mulai terbentuk, asam butirat, propionat dan asetat, merupakan senyawa yang dihasilkan oleh bakteri fermentasi

dimana jumlah produksi asam lemak tersebut tergantung pada jumlah bakteri pada substrat. [14].



Gambar 5. Grafik Akumulasi produksi biogas.

Aktivitas bakteri *anaerob* dapat dilihat dari jumlah produksi biogas yang dihasilkan [15]. Pada gambar 5 (Hari ke 5 dan seterusnya) produksi biogas yang dihasilkan meningkat tajam hingga menghasilkan produksi maksimum hari ke 8 untuk kondisi *thermophilic* yaitu produksi biogas 0,1113 kg dan produksi optimum pada hari ke 10 untuk kondisi *mesophilic* 0,1094 kg dan 0,1035 kg untuk kondisi tanpa pemanasan. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi *thermophilic* proses asidifikasi berlangsung lebih maksimal dibandingkan pada kondisi *mesophilic*, sehingga dapat mempercepat proses fermentasi dan dapat menghasilkan produksi biogas yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi tanpa pemanasan.

Proses asidifikasi dan metanogen pada proses fermentasi tersebut setelah hari ke 8 (Kondisi *thermophilic*), hari ke 10 (Kondisi *mesophilic*) dan hari ke 11 (Tanpa pemanasan) berangsur-angsur menurun seperti ditunjukkan pada gambar 3. Baik pada kondisi *mesophilic* dan *thermophilic*, produksi gas memperlihatkan kecenderungan yang menurun, hal ini disebabkan karena proses penguraian bahan substrat mulai habis untuk diubah menjadi produk (asam asetat) yang selanjutnya diubah oleh enzim yang dihasilkan oleh bakteri metanogen menjadi

CH_4 dan CO_2 , sedangkan pada kondisi tanpa pemanasan produksi gas setelah hari ke 11 tidak menunjukkan grafik yang menurun tajam, hal ini disebabkan karena pada kondisi tanpa pemanasan proses fermentasi berjalan lambat sehingga substrat belum seluruhnya terdegradasi oleh bakteri hidrolisis maupun bakteri asidifikasi.

Bakteri mendegradasi substrat melalui penggunaan enzim yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri, enzim yang terdiri atas protein dan merupakan molekul yang mengkatalisis reaksi biokimia pada proses fermentasi baik pada proses hidrolisis, asidifikasi dan metanogen. Dua jenis enzim yang terlibat pada proses degradasi substrat yaitu endoenzim dan eksoenzim. Endoenzim dan eksoenzim diproduksi oleh sel bakteri, namun tidak semua bakteri menghasilkan eksoenzim yang digunakan untuk mendegradasi kandungan protein, lemak karbohidrat dan unsur-unsur lain yang terkandung pada substrat kotoran hewan/kuda.

Peningkatan temperatur menyebabkan aktivitas enzim meningkat. Hal ini disebabkan oleh suhu yang makin tinggi akan meningkatkan energi kinetik, sehingga menambah intensitas tumbukan antara substrat dan enzim [16]. Tumbukan yang sering terjadi akan mempermudah pembentukan kompleks enzim-substrat, sehingga produk yang terbentuk makin banyak.

Penelitian dilakukan pada suhu 30°C hingga 50°C , dengan bakteri *Bacillus subtilis* yaitu salah satu jenis bakteri dapat tumbuh pada suhu tinggi di atas suhu tumbuh rata-rata bakteri *mesophilic* yaitu 45°C - 70°C . Oleh karena memiliki ciri khas demikian, maka bakteri ini sebagian besar tumbuh dan hidup pada daerah bersuhu tinggi, seperti sumber air panas, kawah gunung berapi, dan tempat pengomposan. Keuntungan dari bakteri ini adalah memiliki protein yang dapat bekerja pada kondisi lingkungan dengan suhu tinggi dimana protein/ enzim lain dapat mengalami denaturasi [17].

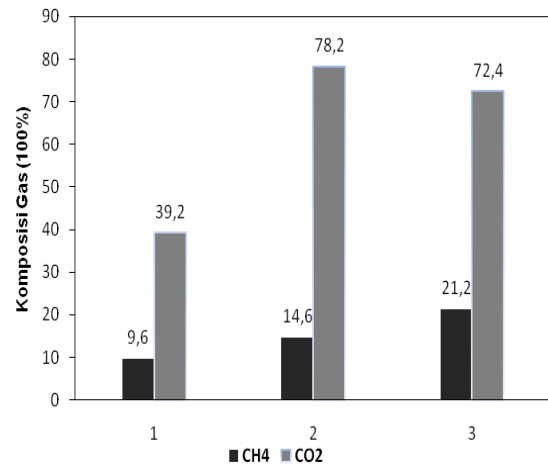
Aplikasi enzim pada kondisi suhu *thermophilic* dalam proses hidrolisis-asidifikasi dapat meningkatkan kinerja

biodegradasi bakteri asidogenesis. Enzim pada proses hidrolisis meliputi protease dan peptidase, yang memecah protein menjadi peptida dan asam amino, sedangkan enzim lipase untuk memecah lemak menjadi gliserol dan asam-asam lemak rantai panjang (Asam valeric, butirat dan propionat) menjadi asam asetat, dan enzim endogluconase untuk merubah selulosa menjadi glukosa.

Proses hidrolisis merupakan proses yang menentukan untuk proses-proses selanjutnya karena hasil dari proses hidrolisis merupakan produk yang nantinya akan diubah oleh bakteri asam dan bakteri metanogen untuk memproduksi gas metan dan CO₂. Temperatur sangat berpengaruh terhadap aktifitas pertumbuhan bakteri dan produksi enzim yang memiliki konsentrasi yang tepat untuk bereaksi terhadap unsur-unsur pada substrat.

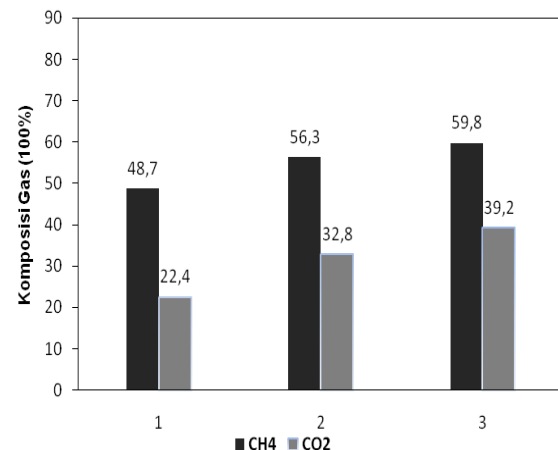
Produksi biogas secara akumulatif pada gambar 5. Produksi biogas pada kondisi *mesophilic* dari awal proses hingga akhir proses fermentasi yaitu hingga akhir hari ke 15 memperlihatkan grafik yang landai dibandingkan dengan grafik produksi biogas pada kondisi *thermophilic* yang cenderung mengalami kenaikan yang tajam. Dari bentuk grafik dapat disimpulkan bahwa produksi biogas diantara dua kondisi tersebut, kondisi *thermophilic* yang menghasilkan produksi lebih tinggi yaitu 0,1411 kg, pada kondisi *mesophilic* produksi akhir biogas adalah 0,1227 kg dan produksi tanpa pemanasan 0,1151 kg.

Komposisi biogas ditunjukkan pada gambar 6. dan 7. Dari grafik menunjukan bahwa pada hari ke 4 kandungan CH₄ pada kondisi *mesophilic* (14,6%), lebih rendah dibandingkan pada kondisi *thermophilic* yaitu 21,2%. Proses hidrolisis dan asidifikasi dapat berjalan secara paralel, yaitu pada saat asam organik dan glukosa sudah terbentuk maka dijadikan substrat oleh bakteri asidogenesis/bakteri asam yang kemudian dijadikan sebagai produk. Hal ini menunjukan bahwa pada hari ke 4 proses fermentasi sudah mulai menghasilkan gas CH₄ dimana digester *thermophilic* menghasilkan gas CH₄ yang lebih tinggi kandungannya dibandingkan dengan kondisi *mesophilic*.



Gambar 6. Grafik komposisi biogas pada hari ke 4 fermentasi. (1) Tanpa pemanasan, (2) *Mesophilic*, (3) *Thermophilic*

Pada kondisi *thermophilic* yang menghasilkan kandungan CH₄ lebih tinggi pada hari ke 4 menunjukan bahwa proses hidrolisis berjalan lebih sempurna dibandingkan pada proses hidrolisis pada kondisi *mesophilic*. Jumlah kandungan CH₄ yang tinggi pada hari ke 4 menunjukan bahwa senyawa CO₂ dan H₂ yang dihasilkan dari proses hidrolisis pada kondisi *thermophilic* dengan jumlah yang tinggi, dengan jumlah senyawa CO₂ dan H₂ yang besar akan bereaksi menjadi CH₄ dan H₂O dengan jumlah senyawa yang tinggi pula.



Gambar 7. Grafik komposisi biogas pada hari ke 15 fermentasi. (1) Tanpa pemanasan, (2) *Mesophilic*, (3) *Thermophilic*.

Prosentase CH_4 yang dihasilkan pada hari ke 4 menunjukkan bahwa proses hidrolisis dan pengasaman sudah mulai berlangsung secara paralel dengan hasil produk berupa CO_2 dan H_2 yang bereaksi menghasilkan CH_4 dan H_2O .

Setelah pengosongan gas pada hari ke 4, massa gas yang dihasilkan pada kondisi *thermophilic* sangat meningkat tajam, begitu pula prosentase kandungan CH_4 meningkat, yang ditunjukkan pada prosentase kandungan metana pada hari ke 15 atau akhir produksi. Kenaikan prosentase kandungan pada kondisi *thermophilic* disebabkan karena dengan menurunnya kandungan CO_2 dapat menyeimbangkan kondisi stoikiometri dari reaksi biokimia pada proses metanogen. Komposisi kandungan CH_4 dihasilkan dari reaksi kimia antar senyawa CO_2 dan H_2 hasil proses hidrolisis, dan reaksi biokimia dari asam asetat hasil dari proses metanogen ($\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$). Sehingga kandungan CO_2 menurun dan kandungan CH_4 meningkat.

Pada akhir proses, prosentase kandungan gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari digester *mesophilic* adalah 56,3%, pada kondisi tanpa pemanasan 48,7%, sedangkan kandungan gas metana (CH_4) pada digester *thermophilic* adalah 59,8% (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi temperatur *thermophilic* memiliki nilai kandungan yang lebih tinggi walaupun perbedaannya tidak terlalu besar. Sedangkan prosentasi gas CO_2 pada kedua digester di akhir proses, untuk digester *mesophilic* adalah 32,8%, tanpa pemanasan 22,4 %, sedangkan untuk digester *thermophilic* adalah 39%.

Nilai prosentase gas (CH_4) yang tinggi diakhir proses menunjukkan bahwa jumlah asam lemak/volatile fatty acid (VFA) yang terdiri dari butirat, propionat dan asam asetat yang dihasilkan pada fase asidifikasi pada kondisi *thermophilic* jumlahnya lebih besar dari pada asam lemak yang dihasilkan dari kondisi *mesophilic*, sehingga prosentase gas metana yang dihasilkan menjadi lebih tinggi [17].

Efisiensi produksi biogas yang diperoleh dari perbandingan antara massa gas yang dihasilkan dengan bahan substrat

yang difermentasikan selama 15 hari. Efisiensi pada kondisi *thermophilic*, *mesophilic* dan tanpa pemanasan berkisar antara 0,8% atau dibawah 1%. Namun demikian perlakuan pemanasan pada digester dapat meningkatkan prosentase kandungan CH_4 sebesar 11,1% (Kondisi *thermophilic*) dan 7,6% (kondisi *mesophilic*) dari prosentase kandungan yang dihasilkan digester tanpa pemanasan.

Penelitian sejenis yang meneliti sampah organik pada temperatur 55°C , dengan berat substrat 114 kg menghasilkan efisiensi produksi gas sebesar 6,6% [18] dan hasil penelitian yang dilakukan pada temperatur 52 hingga 57°C menggunakan beberapa campuran kotoran hewan menghasilkan produksi biogas 4,13% [12]. Sedangkan penelitian yang menggunakan kotoran sapi dan kotoran kuda yang diteliti pada temperatur tanpa pemanasan (Yusuf et.al. 2011) menghasilkan efisiensi produksi gas sebesar 10,9 % (254,5 ml substrat dan 37,87 ml gas).

Produksi biogas dari kotoran sapi pada temperatur 30 hingga 38°C dengan menggunakan pengaduk, memperoleh efisiensi produksi lebih dari 10%. Dari perbandingan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa produksi biogas pada penelitian ini sangat kecil yang disebabkan karena pada kotoran kuda tidak memiliki jumlah bakteri yang mencukupi pada proses awal untuk mendegradasi substrat [8], selanjutnya perlu dilakukan penelitian dengan menambah alat pengaduk pada digester dengan tujuan agar temperatur substrat merata, reaksi biokimia pada digester bagian bawah dapat bercampur dengan substrat bagian atas (merata) sehingga reaksi kimia dapat berjalan optimal.

Selanjutnya pengadukan dapat berfungsi untuk memecah lapisan atas substrat (lapisan keras) sehingga gas yang dihasilkan dari reaksi kimia didalam digester bagian tengah dan bawah dapat disalurkan keatas, tidak terjebak didalam dasar digester, sehingga meningkatkan produktivitas biogas.

Pada proses produksi biogas menggunakan kotoran kuda, bakteri yang tersedia tidak sebanyak bakteri pada

kotoran sapi, dikarenakan pada pencernaan sapi proses pembusukan dilakukan dua kali, yaitu pada lambung dan pada sekum (Usus besar), sedangkan pada kuda proses pembusukan hanya satu kali yaitu di sekum saja. Sehingga dengan jumlah bakteri yang sedikit pada kotoran kuda, tidak dapat mendekomposisi unsur-unsur karbohidrat, lemak dan protein yang terkandung didalamnya. Untuk meningkatkan jumlah bakteri pada digestasi kotoran kuda perlu diadakan penambahan inokulum yang berasal dari kotoran sapi atau cairan dari sampah organik yang sudah terdapat banyak populasi bakteri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa produksi biogas yang dihasilkan dari digester kondisi *thermophilic* lebih tinggi dibandingkan produksi biogas pada kondisi *mesophilic* dan tanpa pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sastramihardja & Suriawiria., 1980. Faktor Lingkungan Biotis dan Abiotis Dalam Proses Pembentukan Biogas Serta Kemungkinan Penggunaan Starter Efektif Didalamnya, Lokakarya Pengembangan Energi Non-Konvensional. Direktorat Jendral Ketenagaan Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta.
- [2] Sihotang, Benikditus., 2010. Kandungan Senyawa Kimia Pada Pupuk Kandang Berdasarkan Jenis Binatangnya.
- [3] Santoso, Anugrah Adi., 2010. Produksi Biogas Dari Limbah Rumah Makan Melalui Peningkatan Suhu dan Penambahan Urea Pada Perombakan *Anaerob*, [Skripsi], Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [4] Omolola, Awosolu Mary., 2007. Anaerobic Digestion Of Ethanol Distillery Waste-Stillage For Biogas Production [Thesis], Chemical Engineering, Hogskolan I Boras institute.
- [5] Vindis, P.Mursec ., Janzekovic. M., Cus.F., 2009. The Impact Of *Mesophilic* And *Thermophilic* Anaerobic Digestion On Biogas Production, University of Maribor, Slovenia.
- [6] Permana,Satria Buyung., 2012. Pengaruh Perbandingan Kandungan Kotoran Kuda Dan Air Pada *Mesophilic* Digester Terhadap Produksi Biogas. [skripsi] Universitas Brawijaya Malang.
- [7] Sastrohamidjojo, Harjono., 2005. Kimia Dasar. Gadjah Mada University Press. Jogjakarta.
- [8] Joacuin da Costa., 2011. Optimasi Produksi Biogas Pada Anaerobic Digester Biogas Type Horizontal Berbahan Baku Kotoran Sapi Dengan Pengaturan Suhu Dan Pengadukan. (Thesis) Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- [9] Pelczar,Michael., Chan,E,C.S.,2005. Dasar-Dasar Mikrobiologi. Penerjemah Hadioutomo, Ratna Sri. Penerbit UI-Press, 2010.
- [10] Demeyer A, Jacob F, Jay M, Menguy G, Perrier J.,1981. La Conversion Bioénergétique Du Rayonnement Solaire Et Les Biotechnologies. Ed. Technique et Documentation, Paris, France.
- [11] Kaparaju,P., 2006. Effect of Temperature and Active Biogas Process on Passive Separation of Digested Manure. Journal Bioresources Technology. Australian Government Publishing Service.
- [12] Solares,E.T.,Domaschko,M., Robles-Martínez, F., Durán-Páramo, E., Hernández-Eugenio, G., Bombardiere., 2010. JShort-Term Effects Of Temperature Changes In A Pilot Plant For The Production Of Biogas From Poultry Litter.

-
- [13] Zinder, S.H., Anguish, T., Cardwell, S.C., 1984. Effects of Temperatur on Methanogenesis in a *Thermophilic* (58⁰C) Anaerobic Digester. Department of Microbiology, Cornell University, Ithaca, New York.
- [14] Askar, Surayah., Abdurachman., 2001. pengaruh penambahan zink kedalam simulasi rumen secara invitro terhadap produksi asam lemak atsiri. Buletin Pertanian.
- [15] Ahmad, A., Setiadi, T., Mindriany, S dan Oei Ban Liang., 2000. Bioreaktor Berpenyekat *Anaerob* untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Yang Mengandung Minyak dan Lemak. Prosiding Seminar nasional Universitas Diponegoro. Semarang., D15-1-8.
- [16] Kosim, Mukhamad., Putra, Surya Rosa., 2009. Pengaruh Suhu Pada Protease Dari *Bacillus Subtilis*. (Skripsi). Jurusan Kimia FMIPA (ITS). Surabaya.
- [17] Purwati, Sri., 2011. Aplikasi Protease dan Pengaruh Suhu Pada asidifikasi digestasi anaerobik Dua-Tahap Lumpur Ipal Biologi Industri Kertas, Balai Besar Pulp dan Kertas.
- [18] Eliyan, Chea., 2007. Anaerobic Digestion Of Municipal Solid Waste In *Thermophilic* Continuous Operation, [Thesis], Asian Institute of Technology School of Environment, Resource and Development, Thailand.