



Available at www.mst.ft.ugm.ac.id
Jurnal Sistem Teknik



PENENTUAN POTENSIAL BIOGAS DARI SAMPAH ORGANIK KOTA MELALUI PROSES *ANAEROBIC DIGESTION* SISTEM *BATCH* MENGGUNAKAN INOKULUM DARI INSTALASI BIOGAS SOBACKEN BORÅS SWEDIA SEBAGAI SALAH SATU PARAMETER DALAM PERANCANGAN REAKTOR BIOGAS SKALA MASAL

Sarno Widodo^{*1}, Sunarto Goenadi² dan Chandra Wahyu Purnomo³

¹Tek. Pengelolaan & Pemanfaatan Sampah/Limbah Perkotaan, Magister Sistem Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

²Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

³Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

*Correspondence : nurhit@yahoo.com

Abstract

This research is about the determination of the biogas potentials from municipal organic waste taken from Borås municipality and the designing of a large scale biogas reactor to convert cattle dung, which to be hoped for helping poor households in Temon sub district in Kulon Progo Regency.

The method used was the Completely Randomized Design with four treatments and triplicates. By using treatments of 1%VS, 1.5% VS, 2% VS, and 3% VS Pre-treated municipal organic waste as samples were filled into the reactors which contain of 20 ml volume of inoculums then they were incubated at temperature of 55°C (thermophilic temperature). During the time period of 30 - 50 days simultaneously measurements of biogas/ methane were necessary done.

The results showed that the volatile solid values of municipal organic waste and waste simulator were 21.04 %, and 25.89 %. Based on the accumulated biogas production curves and the 2nd degree of polynomial regression analysis, were obtained that the biogas potential of municipal organic waste were 832.89 ml/g VS on 2% VS and 864.5 ml/g VS on 1.66%VS. Whereas based on the accumulated biogas/methane production curves of waste simulator were obtained of 982.89 ml/g VS dan 369.46 ml/g VS on 1.5% VS. On the other side, by using the 3rd degree of polynomial regression analysis, the biogas potential of waste simulator mathematically obtained of 1147.38 ml/g VS on 1.49%VS, and the potential methane of 447.30 ml/g VS on 1.47% VS.

Within the designing of a large scale biogas reactor to convert dried cattle dung to be biogas, for building the biogas plant was needed the total cost of 3,465,000 USD. The project was funded by loan with interest rate of 10% and had to be paid in 10 years. The biogas reactor was estimated 20 years in operation and would produce 1700 m³ of biogas or 952 m³ of methane daily, and to be hoped could help 1,030 poor households. The total benefit obtained would reach 4,278,758 USD for 20 years.

Sejarah:

Diterima 10 Mei 2010

Diterima revisi 2 Juni 2010

Disetujui 2 Juli 2010

Tersedia online 1 Agustus 2010

Keywords:

Biogas
Volatile Solid
Anaerobic Digestion
Substrate
Reactor

1. Pendahuluan

Meningkatnya harga pasaran minyak dunia serta menghilangnya sumber-sumber energi tradisional seperti kayu bakar menyebabkan terjadinya krisis energi. Kebutuhan utama energi bagi masyarakat terutama untuk penerangan dan memasak. Minyak tanah khususnya, yang menjadi andalan untuk memenuhi kebutuhan energi mereka harus diperoleh dengan mengeluarkan biaya yang cukup tinggi.

Di negara berkembang kehadiran sampah selalu identik dengan datangnya masalah. Seiring dengan meningkatnya kualitas hidup manusia, produksi sampah untuk setiap harinya menunjukkan angka yang semakin besar pula. Tahun 2000 produksi sampah perkapita di Indonesia adalah 1,0 kg/hari dan akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2020 diperkirakan mencapai angka 2,1 kg perkapita/hari ([kompas, 09-09-2008](#)).

Sampah merupakan salah satu sumber terbentuknya Gas Rumah Kaca (GRK). Pemanasan global adalah gejala naiknya suhu permukaan bumi akibat meningkatnya konsentrasi GRK di atmosfer. GRK utama adalah gas karbondioksida (CO₂), Metan (CH₄), Nitrat-oksida (N₂O). Meningkatnya suhu bumi diperkirakan akan mengakibatkan terjadinya perubahan iklim dan kenaikan permukaan air laut. CH₄ (metan) sebagai gas rumah kaca, kekuatannya dalam efek pemanasan global 23 kali lebih tinggi dari CO₂. Untuk mengejar target pengurangan emisi GRK, produksi gas metan perlu dikendalikan. Berbagai sumber gas metan antara lain adalah rawa, Tempat Pembuangan Akhir (TPA), penambangan gas alam, pembakaran biomassa. Dalam kaitannya dengan masalah sampah, TPA menjadi sumber gas metan karena adanya proses penguraian sampah secara anaerobik (tanpa oksigen) oleh sejumlah mikroba yang hidup di dalam sampah (Kompas, 2008)

Pada sisi lain, jenis ruminansia juga menghasilkan kotoran dan urine. Menurut Suharyadi dkk (2002) dalam Eddy Nurcahyo, kotoran dan urine sapi mengandung gas metan (CH_4) sebagai hasil pencernaan makanannya. Gas metan ini adalah salah satu gas yang menyebabkan terjadinya pemanasan global (*global warming*). Sebagai gambaran, di Amerika Serikat, limbah peternakan dalam bentuk feces mencapai sekitar 1,7 milyar ton per tahun, yang dihasilkan oleh 25 juta ekor sapi yang digemukkan (Dyer, 1986). Menurut Crutzen (1986), kontribusi emisi metan dari peternakan mencapai 20 – 35 % dari total emisi yang dilepaskan ke atmosfer. Di Indonesia, emisi metan per unit pakan atau laju konversi metan lebih besar karena kualitas hijauan pakan yang diberikan rendah. Semakin banyak jumlah pemberian pakan kualitas rendah, semakin tinggi produksi metannya (Suryahadi, dkk, 2002).

Penurunan kualitas lingkungan akibat terjadinya pencemaran tanah, air dan udara, serta pemanasan global, harus sedapat mungkin dikendalikan. Beberapa penelitian, menunjukkan bahwa dari limbah organik maupun kotoran binatang dapat dimanfaatkan gas metan (CH_4) yang dihasilkannya. Dengan dilakukannya kajian-kajian tentang potensi sumber-sumber energi terbarukan dan sistemnya, memberikan peluang dalam penyediaan kebutuhan energi tersebut. Salah satu sumber energi tersebut adalah biogas. Penggunaan biogas secara tidak langsung dapat menurunkan praktik perambahan hutan yang mengakibatkan kerusakan hutan serta deforestasi, erosi tanah, maupun banjir (Nijaguna, 2006).

Dari paparan di atas, perlu kiranya dilakukan studi tentang karakteristik berbagai biomassa untuk pembangkit biogas, sehingga diharapkan dapat digunakan dalam pemenuhan energi. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan nilai *volatile solid* sampah organik kota yang diambil dari *Sobacken Waste Station* – Boras, Swedia, serta simulator sampah, mengoptimasi berbagai perlakuan variasi persentase *volatile solid* (VS) dalam pembuatan *slurry* untuk menentukan potensial biogas dan metan yang dapat dicapai, serta membuat rancangan instalasi reaktor biogas skala masal berdasarkan *volatile solid* bahan dasar yang tersedia di lingkungan (kotoran sapi) melalui studi literatur, dengan mengambil tempat penelitian di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Jogjakarta.

Material dasar karbon organik yang diperoleh dari tanaman dan binatang disebut biomassa. Biomassa dapat diubah secara fisika, kimia, maupun secara biologis menjadi *biofuel*. Salah satu keunggulan penggunaan *biofuel* terkait dengan ekologi lingkungan adalah tidak menambah efek polusi dan dapat diperoleh secara berkelanjutan. Energi yang diperoleh dari *biofuel* disebut dengan *bio-energi*. Dalam *bio-kimia* proses ini juga dikenal sebagai *bio-methanation* yang merupakan bagian dari proses *anaerobic digestion* terhadap bahan organik, yang menghasilkan *biogas* (Nijaguna, 2006). Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh aktivitas sejumlah bakteri yang mendegradasikan material organik dalam kondisi anaerobik. Untuk lebih jelasnya komposisi biogas dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 1. Komposisi Biogas Sumber : Yadav and Hesse 1981

Substansi	Simbol Kimia	Persentase (%)
Methane	CH_4	50-70
KarbonDioksida	CO_2	30-40
Hydrogen	H	5-10
Nitrogen	N	1-2
Uap air	H_2O	0,3
Hidrogen Sulfida	H_2S	Traces

Beberapa karakteristik biogas diantaranya adalah 20% lebih ringan dari pada udara dan memiliki suhu penyalaan antara 650° hingga 750° C. Biogas tidak berbau dan merupakan gas yang tidak berwarna, namun saat dibakar memiliki warna penyalaan yang biru seperti halnya gas LPG. Biogas memiliki nilai kalori sekitar 20 MJ/m³, serta mampu membakar dengan efisiensi sebesar 60% apabila menggunakan kompor biogas konvensional (Sathianathan, 1975).

Menurut Upendra Gautam (1996), beberapa bahan organik yang dapat didegradasi dapat dikonversikan menjadi biogas. Jenis-jenis limbah yang memiliki potensi untuk menghasilkan biogas adalah kotoran binatang, limbah pertanian, tanaman pertanian untuk energi (*Bio-crops or energy crops*), yaitu tanaman yang sengaja dibudidayakan untuk produksi biogas, seperti: *clover, timothy, fescue, cocksfoot, dan ryegrass*, Sludge (lumpur) yang terbentuk dari pengolahan limbah cair industri dan pengelolaan limbah instalasi kota, Limbah industri pangan (limbah tahu dan terutama limbah rumah potong), Namun demikian beberapa bahan yang memiliki karakter berbeda dapat digunakan secara bersamaan.

Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion adalah proses biologis yang dilakukan secara teliti dalam keadaan tanpa oksigen (O_2), dimana bahan-bahan organik diubah menjadi biogas yang memiliki kandungan utama metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Agar proses dapat berlangsung dengan baik, diperlukan beberapa kelompok mikroorganisma yang mampu mengubah bahan-bahan organik menjadi bahan antara, terutama asam asetat, karbon dioksida, dan hidrogen, yang selanjutnya digunakan oleh bakteri pembentuk metan (*methane forming bacteria*) untuk diubah menjadi metan (Gautam, 1996).

Sedangkan menurut Hansen, dkk(2003) dijelaskan bahwa *Anaerobic digestion* adalah suatu proses dimana mikro-organisme merombak bahan organik didalam keadaan tanpa oksigen. Dalam proses ini terjadi penurunan volume dan massa dari bahan yang digunakan sebagai input.

Mikro-organisma anaerobik memiliki kecepatan reaksi dan pertumbuhan yang lambat, sehingga keadaan optimum di dalam reaktor sebagai tempat terjadinya reaksi sangatlah diperlukan. Meskipun waktu yang dibutuhkan untuk proses relatif lama, namun kelebihan proses ini adalah kemampuannya dalam mengubah bahan organik yang kompleks menjadi metan dan karbon dioksida, yaitu energi terbarukan dalam bentuk gas yang dapat dibakar. Agar pertumbuhan mikro-organisme dapat berlangsung secara serentak, tempat terjadinya proses *anaerobic digestion* yang sering disebut dengan *digester* (reaktor anaerobik) diupayakan dapat memadukan dengan berbagai kelompok mikroba yang berbeda aktivitasnya. Ketika proses *anaerobic digestion* hampir berakhir dan *substrate* hampir semuanya menjadi gas metan, maka karbon dioksida turut melakukan reaksi untuk menjaga keseimbangan karbonat di dalam *substrate*. Spesies bakteri tertentu sebagai hasil metabolisme dari beberapa spesies, dimakan oleh spesies yang lain.

Proses Degradasi Bahan Organik

Pada proses degradasi menunjukkan terjadinya reaksi yang bervariasi dan terjadi interaksi antara bakteri methanogen dan *substrate* di dalam *digester*/reaktor. Menurut Gerardi (2003), degradasi bahan organik yang kompleks hingga menjadi metan akan tercapai setelah melalui 3 tahap berikut:

Tahap 1. Hidrolisis (Tahap degradasi Polymer)

Pada tahap ini molekul organik didegradasikan dengan bantuan enzim ekstraselulosa yang dilepaskan oleh bakteri. Sebagai contoh kandungan selulosa yang terdiri dari glukosa yang sudah terpolimerisasi dirombak menjadi *dimeric*, dan kemudian menjadi glukosa (molekul gula) yang monomer oleh bakteri selulolitik (*cellulolytic bacteria*).

Tahap 2. Acidifikasi (Acidification).

Monomer seperti glukosa difermentasikan dalam keadaan anaerobik menjadi asam yang bervariasi dengan bantuan enzim yang dihasilkan oleh bakteri pembentuk asam (*acid forming bacteria*). Pada tahap ini bakteri pembentuk asam akan merombak molekul dari enam atom karbon (glukosa) menjadi molekul yang memiliki lebih sedikit atom karbon (asam), yang lebih rendah dibandingkan glukosa. Proses ini menghasilkan bermacam-macam asam seperti asam asetat, asam propionik, asam butirat, serta etanol. Lebih lanjut, terjadi suatu proses degradasi yang menghasilkan ammonia, karbon dioksida, serta hidrogen sulfida (Karki and Dixit, 1984).

Tahap 3. Methanisasi (Methanization)

Menurut Karki dan Dixit (1984), tahap metanisasi terjadi ketika bakteri *methanogens* mengubah bermacam-macam asam menjadi metan serta produk samping berupa air, karbon dioksida, dan sedikit gas yang lainnya

Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Biogas

Selama proses metanisasi ini berlangsung ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi produksi biogas, yaitu: pH, Temperature, loading rate, waktu tinggal, toksisitas, tekanan, C/N rasio, pengenceran dan konsistensi input Serta, volatile solid. Ke semua parameter yang mempengaruhi produksi biogas tersebut saling berkaitan satu sama lain, serta saling mempengaruhi. Berkaitan dengan raw material yang akan digunakan dalam produksi biogas, maka volatile solid adalah salah satu faktor terpenting yang harus diketahui, karena nilai volatile solid suatu bahan akan menentukan secara langsung terhadap produksi biogas yang dihasilkan.

Menghitung Nilai Volatile Solid Bahan Organik

Volatile solid merupakan parameter yang sangat penting dalam perancangan proses produksi biogas. Nilai *volatile solid* yang dimiliki oleh suatu bahan dasar akan sangat menentukan terhadap hasil biogas yang akan dicapai. Oleh karena itu, sebelum bahan dasar digunakan untuk menghasilkan biogas, terlebih dahulu harus diperhitungkan terhadap jenis, nilai ekonomi, dan jumlah energi yang dapat dihasilkan.

Berat padatan organik yang terbakar ketika dipanaskan hingga suhu 538°C didefinisikan sebagai *volatile solid*. Potensi produksi biogas dari bahan organik yang berbeda dapat dihitung berdasarkan kandungan *volatile solid*nya. Bahan yang mengandung *volatile solid* yang lebih tinggi akan menghasilkan biogas dalam jumlah yang lebih banyak pula (Sathianathan, 1975). Untuk memperoleh nilai *volatile solid* suatu bahan dasar biogas dibutuhkan beberapa tahap perlakuan sehingga dapat dihitung mulai *dry matter*, *organic dry matter*, serta *volatile solid* bahan organik pada akhirnya.

a. Persentase kandungan kering bahan (% Dry Matter)

Banyaknya energi yang tersedia dari suatu bahan secara umum meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan kering (*dry matter*) yang dimiliki bahan. Menurut Michael Chesshire (2005), biomassa atau bahan organik ditimbang terlebih dahulu, kemudian dipanaskan pada suhu 105°C hingga kandungan airnya hilang. Maka massa bahan yang telah kering tersebut di namakan sebagai kandungan kering (*dry matter*).

Sedangkan menurut Mohammed Alamgir (2007), suhu *furnace* yang digunakan untuk memanaskan biomassa adalah 105°C namun dengan waktu pembakaran selama 24 jam. Persamaan untuk memperoleh persentase kandungan kering (% DM) adalah:

$$\%DM = \frac{y}{x} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

x = biomassa yang ditimbang sebagai sampel (gram)
y = kandungan kering bahan (gram)

b. Persentase Organik Dry Matter (% ODM)

Menurut Michael Chesshire (2005), kandungan kering (*dry matter*) dipanaskan kembali hingga menjadi abu pada *furnace* dengan menggunakan suhu 538°C selama 2 jam. Sedangkan Mohammed Alamgir (2007), menyarankan menggunakan suhu pembakaran 550°C selama 5 jam. Untuk memperoleh nilai persentase *Organik Dry Matter* (%ODM) dapat digunakan persamaan berikut:

$$\%Ash = \frac{z}{y} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\%ODM = 100 - \%Ash = 100 \left(1 - \frac{z}{y}\right) \quad \dots\dots(3)$$

y = kandungan kering bahan (gram)
z = massa abu yang tertinggal (gram)

c. Nilai Volatile solid

Harga *Volatile solid* merupakan persentase khusus dari kandungan kering. Bahan umumnya memiliki rentang nilai antara 63% - 98% dari kandungan keringnya (Sathianathan, 1975). Sehingga persentase *Volatile Solid* (% VS) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$VS (\%) = ODM \times \% DM \quad \dots\dots(4)$$

d. Penurunan Kandungan Organik (Organic Matter Reduction = % OMR)

Persentase Penurunan Kandungan Organik (% OMR) suatu bahan diperoleh dengan cara menghitung rata-rata hasil percobaan, baik dengan menggunakan reaktor skala laboratorium maupun skala sebenarnya. Persentase Penurunan Kandungan Organik (% OMR) kotoran sapi adalah 30%, sedangkan beberapa tanaman budidayak untuk pembuatan biogas hingga 70%.

2. Metodologi

Penelitian dilakukan selama kurang lebih 6 bulan dari bulan Desember 2007 hingga bulan Mei 2008 di Laboratorium Kimia, School of Engineering - University College of Borås - Swedia. Dalam penelitian ini, untuk memperoleh nilai optimum persentase *volatile solid* bahan dasar biogas hingga diperoleh potensial biogas dan metan harus melalui dua tahap percobaan, yaitu: menentukan nilai *volatile solid* bahan, serta penentuan potensial biogas dan metan dengan 4 perlakuan menggunakan variasi 0%VS, 1%VS, 1,5%VS, 2%VS, dan 3%VS dari material yang akan dikonversi menjadi biogas. Bahan dasar yang digunakan ada dua macam, yaitu sampah organik kota, serta bahan campuran yang dipadu dengan konsentrasi tertentu yang digunakan sebagai simulator sampah, sebagai pembanding.

Tabel 2 Komposisi bahan campuran sebagai simulator sampah

No.	Nama bahan	Komposisi (%)	Massa (g)
1	Umbi-umbian	2,9	14,5
2	Kentang	12	60
3	Sayuran	21,5	107,5
4	Buah-buahan	21,5	107,5
5	Daging + ikan	7,6	38
6	Keju	4,3	21,5
7	Bulir gandum/padi	5,9	29,5
8	Bunga-tanah pd tanaman	3,1	15,5
9	Kopi dan teh	9,7	48,5
10	Kertas	9,5	47,5
11	Logam, kayu, karet	1,5	7,5
12	Plastik	0,5	2,5
JUMLAH		100	500

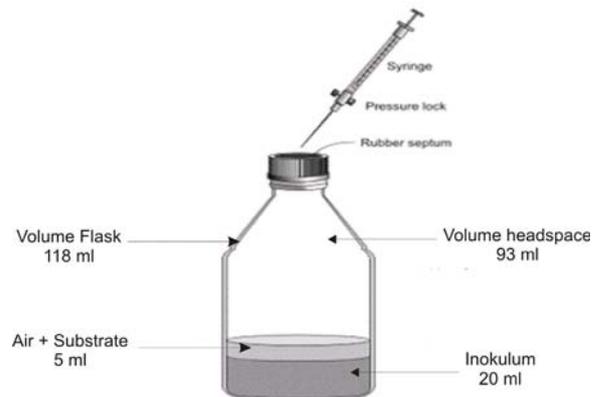
a) Menentukan Nilai Volatile Solid

Untuk menentukan nilai Volatile Solid (VS) suatu material organik, seperti yang dilakukan di University College of Borås Sweden, dapat ditempuh melalui cara-cara pencacahan, pelumatan, penimbangan bahan, pemanasan material di dalam furnace 110°C selama 24 jam, dan dipanaskan lagi dengan suhu 550°Celsius selama 1 jam sehingga meninggalkan abu.

b) Menentukan Potensial Biogas dan Metan

Sistem *batch* adalah metode sederhana yang digunakan untuk menentukan potensial biogas/ metan dari suatu limbah. Cara tersebut dilakukan dengan menggunakan sedikit limbah yang ditambahkan pada inokulum dari instalasi biogas secara anaerobik dengan volume tertentu. Prosedur pengukuran biogas/metan untuk sampel limbah padat yang digagas oleh Angelidaki dan Ahring (1997), bertujuan untuk mengetahui karakter dan menentukan potensial metan dari sampel limbah padat, dan dilakukan dengan cara mengamati potensial metan melalui proses *anaerobic digestion*. Penentuan potensial metan dimaksudkan untuk memperoleh hasil dalam satuan ml CH₄/g VS, serta agar diperoleh harga yang mantap (*reliable*) selama periode inkubasi. Metan yang dihasilkan adalah fungsi waktu, atau untuk mengidentifikasi adanya penghalang. Prosedur tersebut dilakukan dengan cara limbah padat dilumat tanpa air agar diperoleh *substrate* yang relatif homogen untuk

dijadikan sebagai sampel. Kemudian dengan menggunakan variasi persentase *volatile solid* tertentu, *substrate* masukkan ke dalam inokulum dan diinkubasikan pada suhu 55 °C selama 50 hari, serta dilakukan pengukuran secara langsung terhadap produksi CH₄-nya dengan menggunakan *Gas Chromatograph* (Hansen, dkk, 2003).



Gambar 1 Ilustrasi Reaktor Dan Sampel Gas

c) Inokulum

Inokulum aktif dari instalasi biogas termofilik dibutuhkan dalam penelitian ini. Inokulum adalah cairan yang keluar dari instalasi pengolahan limbah rumah tangga yang diolah bersama dengan beberapa limbah organik industri dan dioperasikan pada suhu 55 °C. Inokulum sebaiknya digunakan dalam waktu tidak lebih dari 48 jam. Turunnya temperatur hingga suhu *ambient* selama waktu penyimpanan, mengharuskan inokulum disimpan di atas titik bekunya (10°C). Agar inokulum dapat beradaptasi kembali pada suhu 55 °C, disimpan di dalam botol dengan *headspace* tanpa oksigen selama 3 hari pada suhu 55 °C di dalam inkubator. Yang perlu diperhatikan di sini bahwa bahan organik *degradable* yang tersisa di dalam inokulum masih akan menghasilkan metan selama periode penelitian (Hansen, dkk, 2003).

d) Persiapan Pengukuran

Penelitian dilakukan dengan menggunakan sistem *batch* tiga kali ulangan, karena menggunakan inokulum dan sampel penelitian yang memiliki kualitas bervariasi. Oleh karena itu sampel dilumat dan dihaluskan agar diperoleh paduan yang secara relatif homogen. Sementara inokulum harus selalu diaduk sebelum dimasukkan ke dalam reaktor agar diperoleh kondisi yang relatif homogen pula. Tiap tiga reaktor sebagai ulangan dipilih secara acak dan ditambahkan sampel. Kemudian dibilas dengan cara mengalirkan gas 80% N₂ & 20% CO₂ ke dalam reaktor, dengan maksud agar O₂ yg berada di *headspace* keluar dan diperoleh keadaan anaerobik, serta untuk menjaga perubahan pH karena hilangnya karbon dioksida (CO₂) pada *headspace*. Reaktor lalu ditempatkan di dalam inkubator pada suhu 55 °C (±1 °C). Selama percobaan berlangsung reaktor-reaktor tersebut sesekali dikocok dan dipindah-pindahkan ke sekeliling inkubator untuk menghindari terjadinya variasi *minor* karena perbedaan suhu di dalam inkubator. Waktu inkubasi yang digunakan 50 hari untuk menjamin proses perombakan bahan organik *degradable* sepenuhnya telah selesai. Tiga reaktor yang berisi

sampel kontrol (berisi inokulum dan air) juga ikut diukur, untuk mengetahui bahwa inokulum masih memproduksi metan. Setelah 50 hari, pH masing-masing reaktor diukur dan sampel asam lemak terbang (VFA) serta nitrogen (N) diambil (Hansen, dkk, 2003).

Tabel 3 Komposisi Sampel Sampah Organik Kota sebagai Substrate

No	Kode Reaktor	% VS	Volume Inokulum (ml)	Sampah Organik (g)	Penambahan air (ml)	Volume Total (ml)
1	Aw1	0%	20	0	5	25
2	Aw2		20	0	5	25
3	Aw3		20	0	5	25
4	Bw1	1%	20	1,19	3,81	25
5	Bw2		20	1,19	3,81	25
6	Bw3		20	1,19	3,81	25
7	Cw1	1,5%	20	1,78	3,22	25
8	Cw2		20	1,78	3,22	25
9	Cw3		20	1,78	3,22	25
10	Dw1	2%	20	2,38	2,62	25
11	Dw2		20	2,38	2,62	25
12	Dw3		20	2,38	2,62	25
13	Ew1	3%	20	3,57	1,43	25
14	Ew2		20	3,57	1,43	25
15	Ew3		20	3,57	1,43	25

% VS sampah kota diambil dari penelitian sebelumnya sebesar 21,04%.

Tabel 4 Komposisi Sampel Simulator Sampah Sebagai Substrate

No	Kode Reaktor	% VS	Volume Inokulum (ml)	Simulator sampah (g)	Penambahan air (ml)	Volume Total (ml)
1	A1	0%	20	0	5	25
2	A2		20	0	5	25
3	A3		20	0	5	25
4	B1	1%	20	0,97	4,03	25
5	B2		20	0,97	4,03	25
6	B3		20	0,97	4,03	25
7	C1	1,5%	20	1,45	3,55	25
8	C2		20	1,45	3,55	25
9	C3		20	1,45	3,55	25
10	D1	2%	20	1,93	3,07	25
11	D2		20	1,93	3,07	25
12	D3		20	1,93	3,07	25
13	E1	3%	20	2,90	2,10	25
14	E2		20	2,90	2,10	25
15	E3		20	2,90	2,10	25

% VS simulator sampah diambil dari penelitian sebelumnya 25,89%

Dengan menggunakan penambahan air tertentu, reaktor akan memiliki total volume yang sama 25 ml. Substrate yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan :

$$Sampel\ yg\ dibutuhkan = \frac{V_{tot} * \%VS\ exp}{\%VS} \dots\dots(5)$$

Dimana :

- V_{tot} : volume total slurry dalam eksperimen(ml)
- $\%VS_{exp}$: Variasi persentase VS yg digunakan dalam percobaan
- $\%VS$: volatile solid material hasil percobaan sebelumnya

e) Monitoring

Gas metan yang terbentuk di bagian atas reaktor (*headspace*) secara rutin diukur (15–20 kali) dalam 30 hingga 50 hari. Pada minggu pertama, pengukuran dilakukan setiap hari, kemudian untuk minggu selanjutnya cukup 1 kali seminggu. Sampel gas sebanyak 250 µl diambil dari reaktor melalui *septum* (sekat karet) dengan menggunakan *syringe* dengan pengunci tekanan. Pengunci tekanan harus ditutup setelah jarum *syringe* menembus *septum* dan berada di dalam reaktor. Lakukan sedemikian rupa agar diperoleh volume gas yang tepat pada tekanan aktual di dalam reaktor. *Syringe* dicabut dari raktor dalam keadaan terkunci dan segera diinjeksikan langsung ke dalam *Gas Chromatograph*. Dari pengambilan sampel gas, metan serta kandungannya di dalam *headspace* dapat dihitung tanpa mengukur tekanan aktual di dalam ruang reaktor. Banyaknya gas yang hilang karena pengukuran secara relatif kecil dan hasilnya tidak signifikan dipengaruhi oleh perubahan tekanan aktual pada *headspace*. Biogas yang terbentuk harus dihilangkan dari dalam reaktor untuk menghindari terjadinya tekanan yang menyebabkan kebocoran gas pada reaktor. Tekanan dipertahankan di bawah 2 bar. Terbentuknya tekanan yang signifikan dengan mudah dapat diketahui melalui pengamatan pada bentuk *septum* sebagai tutup reaktor. Tekanan dihilangkan dengan jalan menyuntikkan jarum ke dalam *septum*. Pengukuran kandungan metan dapat dilakukan sebelum dan sesudah gas dihilangkan. Pengambilan gas dilakukan selama periode fermentasi mulai hari ke tiga dan seterusnya. Selama periode tersebut pengukuran dilakukan sebanyak 15 hingga 20 kali. Selama minggu pertama, gas dihilangkan sebanyak 3-4 kali. Hal itu disebabkan gas yang dihasilkan tinggi sekali. Selanjutnya gas dihilangkan hanya sesekali saja. Tipikal metan yang dihasilkan pada 8–10 hari pertama mengandung 80-90% metan. Tetapi, karena bahan organik yang terdegradasi berlangsung secara lambat, maka pengukuran sebaiknya tetap dilaksanakan selama 50 hari untuk mencapai maksimal metan yang dihasilkan. Bila potensial metan secara teoritis tercapai dalam waktu yang pendek, hal tersebut dapat dipertimbangkan untuk memperpendek waktu percobaan (Hansen, dkk, 2003).

f) Kalkulasi Produksi Biogas dan Metan

Untuk menentukan banyaknya metan yang dihasilkan, dapat dihitung berdasarkan volume gas *headspace* pada reaktor serta kandungan CH₄-tiap 250 µl yang diukur pada *Gas Chromatograph*. Hasil pengukuran dipindahkan ke dalam akumulasi CH₄ sebagai fungsi dari masa inkubasi. Produksi metan yang dihasilkan oleh setiap sampel harus dikurangkan dengan metan yang dihasilkan oleh inokulum. Satuan yang umum digunakan untuk menampilkan produksi metan adalah dalam ml/g VS. Produksi biogas ini merupakan nilai aktual dari pengukuran potensial biogas dari sampel, dimana potensial biogas didefinisikan sebagai produksi maksimum biogas selama eksperimen berlangsung, sementara potensial biogas juga dapat menyimpang karena ada sesuatu yang menghalangi (Hansen, dkk, 2003). Untuk mengubah satuan produksi gas yang dihasilkan masing-masing sampel dari ml ke dalam satuan ml/g VS, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$BP_{smp1} = \frac{BP_{smp1+inoc} - BP_{inoc}}{\left\{ \frac{V_{slurry}}{100} * \%VS_{used} \right\}} \dots\dots(6)$$

BP_{smp1} : produksi biogas sampel asli (ml/gVS)
 BP_{smp1+inoc} : produksi biogas dari reactor (ml)
 BP_{inoc} : Produksi biogas dari sampel kontrol (ml)
 V_{slurry} : volume slurry dalam reaktor dianggap memiliki massa jenis =1(gram)
 %VS_{used} : persentase VS yang digunakan dalam reaktor

Pengukuran produksi biogas pada masing-masing reaktor dilakukan dengan menggunakan *syringe* plastik 60 ml. Sedangkan untuk pengukuran area metan dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatograph*. Volume metan hasil pengukuran masing-masing sampel dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_{metana} = \frac{area\ hasil\ metana}{standar\ area\ metana} * Volume\ Biogas \dots\dots(7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Penentuan Volatile Solids (VS) Sampah Organik Kota dan Simulator sampah

Data-data yang diperoleh dari sampel sejak mulai dari penimbangan *substrate* hingga dipanaskan menjadi kandungan kering bahan, dipanaskan lanjut hingga menjadi abu, selanjutnya dilakukan analisis. Maka diperoleh hasil sebagai berikut:

- a) *Volatile solid* sampah organik kota = 21,04 %
- b) *Volatile solid* simulator sampah = 25,89 %

Kedua data *volatile solid* di atas selanjutnya digunakan sebagai dasar eksperimen untuk menentukan potensial biogas/metan.

Penentuan Potensial Biogas/Metan Sampah Organik Kota dan Simulator sampah dengan Menggunakan Variasi Persentase Volatile Solid

Untuk menentukan akumulasi volume metan yang dihasilkan, dapat dihitung berdasarkan volume *headspace* reaktor dan kandungan CH₄ tiap 250 µl yang diambil dari *headspace* dengan menggunakan *syringe* yang dilengkapi dengan *pressure lock*, serta diukur langsung pada *Gas Chromatograph*. Pada pengukuran hasil metan, termasuk pembentukan biogas di dalam *headspace*, serta akumulasi CH₄ yang diperoleh, merupakan fungsi dari masa inkubasi. Untuk mengetahui metan yang dihasilkan oleh masing-masing sampel dengan variasi persentase *volatile solid* dari *substrate*, maka harus dikurangkan dengan produksi metan dari inkulum (sebagai sampel kontrol). Dengan demikian produksi biogas dan metan murni dari limbah organik kota dan simulator sampah dapat ditentukan.

Potensial Biogas Sampah Organik Kota

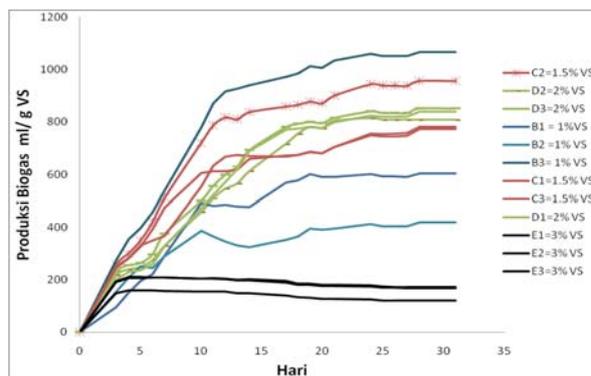
a) Produksi Biogas Sampah Organik Kota (ml/g VS)

Persamaan untuk mendapatkan konversi produksi biogas dalam ml/g VS:

$$BP_{smp1} = \frac{BP_{smp1+inoc} - BP_{inoc}}{\left\{ \frac{V_{slurry}}{100} * \%VS_{used} \right\}} \dots\dots(6)$$

Dimana :

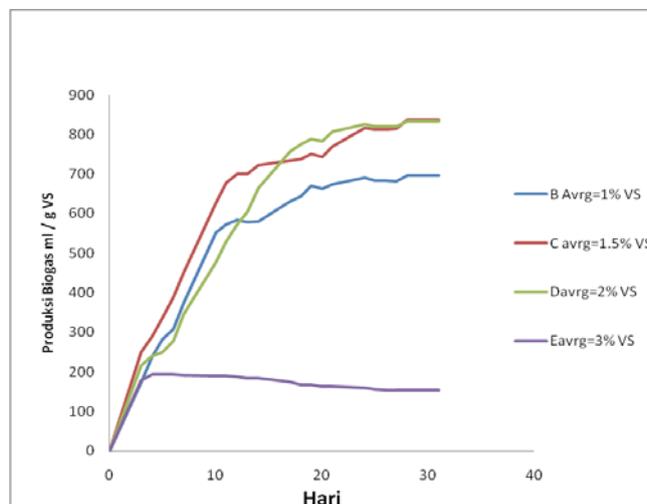
Y : Produksi biogas (ml/g VS)
 BP_{Smp+inoc} : Produksi biogas sampel termasuk inokulum (ml)
 BP_{control sample} : Produksi Biogas dari sampel kontrol (ml)
 V_{used} : Volume slurry untuk eksperimen (ml)
 %VS_{eksp} : % volatile solid yg digunakan dalam eksperimen



Gambar 2 Produksi Biogas Sampah Organik Kota dengan Variasi % VS.

Akumulasi produksi biogas dari seluruh sampel setelah dikoreksi dengan produksi biogas dari inokulum (sampel kontrol) berkisar antara 120 ml/g VS – 1066,67 ml/g VS. Dengan membandingkan seluruh sampel tiga kali ulangan, nampak bahwa D1-D3 dengan kandungan *substrate* 2% VS merupakan yang tertinggi produksi biogasnya. Sedangkan E1-E3 dengan kandungan *substrate* tertinggi (3% VS) menghasilkan akumulasi produksi biogas yang paling rendah. Namun B1 - B3 memiliki penyimpangan yang paling lebar pada akumulasi produksi biogasnya,

b) Potensial Biogas Sampah Organik Kota dengan Variasi Persentase Volatile Solid (VS) sebagai Hasil dari Eksperimen



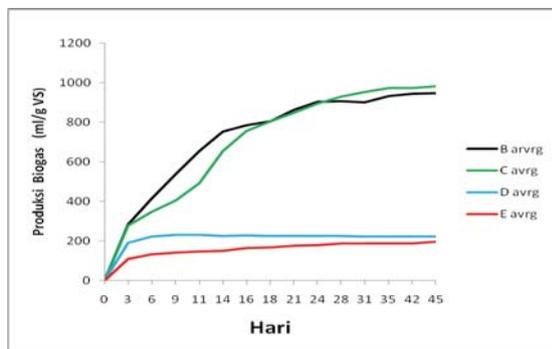
Gambar 3 Kurva Akumulasi Produksi Biogas Sampah Organik Kota Sebagai Hasil Penelitian

Akumulasi produksi biogas rata-rata dari *substrate* sampah organik kota dengan variasi persentase *volatile solid* adalah B (1% VS) = 696 ml/g VS, C (1,5% VS) = 836,44 ml/g VS, D (2%VS) = 832,89 ml/g VS, serta E (3%VS) = 153,18 ml/g VS. Dari rata-rata produksi biogas tersebut, menunjukkan bahwa C dan D dengan *substrate* 1,5% VS dan 2% VS adalah yang tertinggi. Sedangkan E dengan kandungan *substrate* yang paling tinggi (3% VS) merupakan penghasil biogas yang terendah. Apabila C dan D dibandingkan, maka D (2%VS) sedikit lebih baik daripada C(1,5% VS) karena produksi biogasnya lebih stabil. Dari analisis kurva tersebut, maka potensial biogas sampah organik kota adalah 832,89 ml/g VS pada kandungan *substrate* 2% VS.

Potensial Biogas dan Metan Simulator sampah

Pada eksperimen sebelumnya *volatile solid* yang diperoleh dari simulator sampah ini adalah 25,89 %.

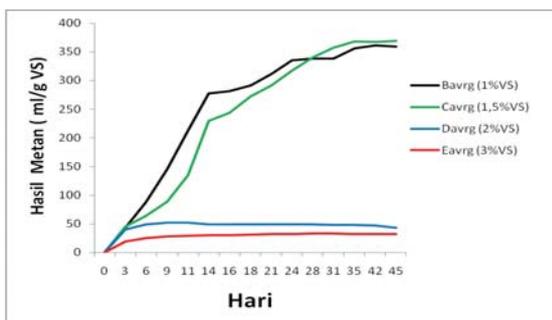
a) Potensial Biogas Simulator Sampah sebagai hasil penelitian.



Gambar 4 Produksi Biogas dari Simulator sampah

Rata-rata akumulasi produksi murni biogas masing-masing sampel setelah dikonversikan ke dalam satuan ml/g VS adalah B (1%VS) = 946,67 ml/g VS, C(1,5%VS) = 982,22 ml//g VS, D(2%VS)= 265,33 ml/g VS, dan E (3%VS) = 196,44 ml/g VS. Dengan membandingkan nilai rata-rata seluruh sampel tiga kali ulangan di atas, menunjukkan bahwa sampel C (1,5% VS) memiliki akumulasi produksi biogas yang tertinggi, yaitu 982 ml/g VS. Sedangkan E dengan kandungan *substrate* tertinggi (3% VS) memiliki akumulasi produksi biogas yang paling rendah, yaitu 196,44 ml/g VS. Dengan demikian potensial biogas simulator sampah adalah 982,22 ml/g VS pada *substrate* dengan kandungan 1,5% VS.

b) Potensial Metan Simulator Sampah (ml/g VS) sebagai hasil Penelitian



Gambar 5 Akumulasi Produksi Metan Simulator Sampah dengan Variasi %VS

Akumulasi produksi metan rata-rata setelah dikoreksi dengan hasil metan, dari inokulum, dan dikonversikan ke dalam ml/g VS adalah B(1%VS) = 359,17 ml/g VS, C (1,5%) = 369,46 ml/g VS, D (2%VS) = 43,13 ml/g VS, dan E (3%VS) = 31,57 ml/gVS. Dengan membandingkan semua rata-rata sampel, C dengan kandungan *substrate* 1,5% VS adalah produksi maksimal metan simulator sampah dengan 369,46 ml/g VS. Sedangkan E dengan kandungan *substrate* tertinggi (3%VS) justru menghasilkan potensial metan yang paling rendah. Dengan demikian potensial metan simulator sampah adalah 369,46 ml/g VS pada kandungan *substrate* 1,5% VS.

Pengukuran pH sludge

Pengukuran pH *sludge* dimaksudkan untuk mengetahui dengan pasti hubungannya dengan produksi biogas selama proses fermentasi berlangsung. Hasil pengukuran pH yang diperoleh dari *sludge* setelah selesai proses *digestion* di dalam reaktor dapat dijadikan pedoman dalam pembahasan yang berkaitan dengan produksi biogas selama proses fermentasi berlangsung.

Tabel 5 Hubungan Antara Ph Rata-Rata Akhir Eksperimen Dan Produksi Biogas/Metan Rata-Rata

Nr	Kode reaktor	Sampah Organik Kota		Simulator sampah		
		pH rata-rata	Produksi biogas rata-rata	pH rata-rata	Produksi metan Rata-rata	% metan
1	A (0%VS)	8,01	88 ml	7,96	45,67 ml	-
2	B (1%VS)	7,90	696 ml/g VS	7,70	359,17 ml/g VS	38,01
3	C 1,5%VS)	7,89	836,44 ml/g VS	7,75	369,46 ml/g VS	37,61
4	D (2%VS)	7,83	832,89 ml/g VS	5,67	43,13 ml/g VS	16,24
5	E (3%VS)	5,78	153,18 ml/g VS	5,33	31,57 ml/g VS	16,18

a) Untuk Sampah Organik Kota

Substrate dengan kandungan 1% VS, 1,5% VS dan 2% VS dapat menghasilkan biogas dengan baik, karena pH *sludge* dapat bertahan pada nilai optimumnya, yaitu antara 7,2 – 8,2. Kandungan *substrate* dengan 1,5% dan 2% merupakan persentase *volatile solid* yang terbaik, dimana keduanya menghasilkan biogas dalam jumlah yang hampir sama tingginya (C= 836,44 ml/g VS dan D= 832,89 ml/g VS). Sementara *substrate* dengan kandungan 3% VS menghambat produksi biogas. Hal ini berarti dengan kandungan *substrate* 3% VS memiliki viskositas/kekentalan *slurry* di dalam reaktor terlalu pekat, sehingga produksi biogas justru terhalang oleh kelebihan *substrate* itu sendiri. Akibatnya bakteri pembentuk metan tidak dapat bekerja dengan normal. Sebagaimana seperti yang disampaikan oleh Nijaguna (2006), bakteri methanogen tidak dapat berkembang apabila pH di dalam reaktor di bawah 6,5.

b) Untuk Simulator sampah

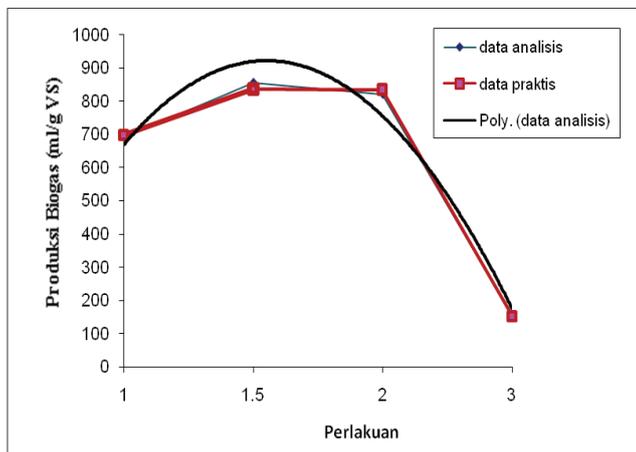
Substrate dengan kandungan 1% VS dan 1,5% VS menghasilkan metan dengan baik, karena pH *sludge* bertahan pada nilai optimum antara 7,2 – 8,2. Kandungan *substrate* dengan 1,5% VS merupakan yang terbaik, karena

menghasilkan metan 369,46 ml/g VS. Sementara *substrate* dengan kandungan 2% atau lebih memberikan produksi biogas yang rendah. Kandungan *substrate* 2% atau lebih viscositas/kekentalan *slurry* sudah terlalu pekat, sehingga produksi biogas justru terhambat dan pH turun di bawah 6,5.

Analisis Statistik Untuk Menentukan Potensial Biogas Sampah Organik Kota dan Simulator sampah

a) Potensial Biogas Sampah Organik Kota (ml/g VS)

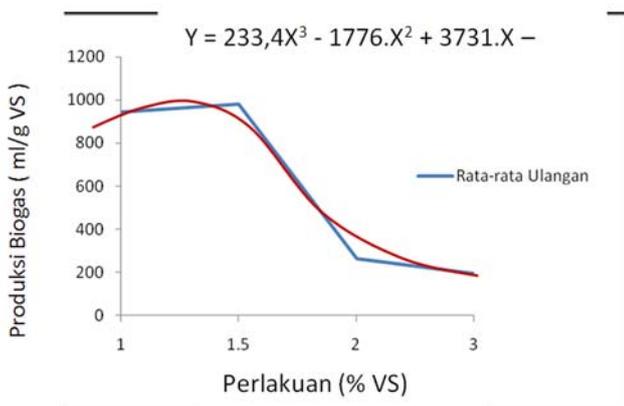
Dari pembahasan di atas nampak bahwa nilai optimum persentase volatile solid berada di sekitar 1,5%VS - 2% VS. Oleh karena itu diperlukan persamaan garis regresi derajat 2 sebagai korelasi y dan x untuk memperoleh %VS optimum secara matematis. Persamaan garis regresi polinomial derajat 2 yang diperoleh adalah $Y = -397,364 X^2 + 1322,409 X - 235,727$. Titik maksimum diperoleh bila $dy/dx = 0$ sehingga diperoleh $X = 1,66$. Pada persamaan di atas dengan $X = 1,66$, maka diperoleh $Y = 864,5$. Dengan demikian secara matematis diperoleh nilai optimum volatile solid pada 1,66% VS sehingga diperoleh potensial biogas sampah organik kota sebesar 864,5 ml/g VS.



Gambar 6 Grafik Regresi Potensial Biogas Sampah Organik Kota

b) Potensial Biogas Simulator sampah (ml/g VS)

Untuk menentukan persentase volatile solid yang optimum serta potensial biogas simulator sampah, selanjutnya dilakukan pendekatan dengan persamaan garis regresi polinomial derajat 3 berikut ini:

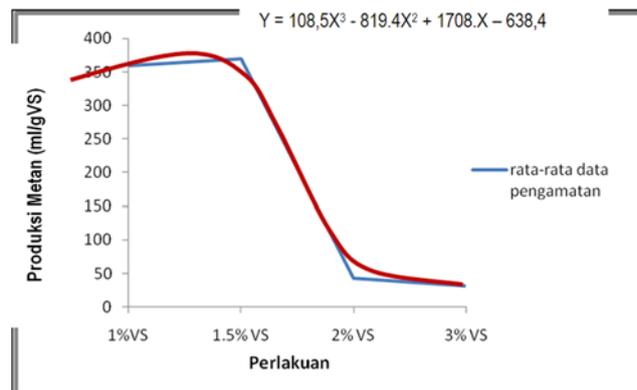


Gambar 7 Grafik Regresi Potensial Biogas Simulator sampah

Dari persamaan garis regresi polinomial derajat 3, diperoleh persamaan $Y = 233,4X^3 - 1776.X^2 + 3731.X - 1241$, maka titik maksimum tercapai bila $dy/dx=0$, secara matematis diperoleh harga $X = 1,49$. Pada persamaan tersebut di atas, dengan $X = 1,49$, maka diperoleh $Y = 1.147,38$. Dengan demikian secara matematis diperoleh nilai optimum volatile solid pada 1,49% VS sehingga diperoleh potensial biogas simulator sampah sebesar 1.147,38 ml/g VS.

c) Potensial Metan Simulator Sampah (ml/g VS)

Untuk menentukan persentase *volatile solid* yang optimum, dilakukan pendekatan dengan persamaan garis regresi polinomial derajat 3 berikut ini:



Gambar 8 Grafik Regresi Akumulasi Produksi Metan Simulator sampah

Dari persamaan garis regresi polinomial derajat 3, $Y = 108,5X^3 - 819,4X^2 + 1708.X - 638,4$ maka titik maksimum tercapai bila $dy/dx=0$, sehingga secara matematis diperoleh harga $X = 1,47$. Pada persamaan $Y = 108,5X^3 - 819,4X^2 + 1708.X - 638,4$, dengan $X = 1,47$, maka akan diperoleh $Y = 447,298$. Dengan demikian secara matematis nilai optimum volatile solid pada 1,47% VS dan diperoleh potensial metan simulator sampah sebesar 447,298 ml/g VS.

Perancangan Reaktor Biogas Kotoran Sapi Skala Masal di Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Jogjakarta

Berdasarkan laporan tahunan Dinas Peternakan dan Pertanian Provinsi Daerah Istimewa Jogjakarta Tahun 2005, terdapat 44.478 ekor sapi dan 528 ekor kerbau, kuda dan sapi perah di Kabupaten Kulon Progo, yang tersebar di 11 dari 12 kecamatan yang ada di Kabupaten Kulon Progo. Hal tersebut berarti sekitar 4.000 ekor sapi tersedia di masing-masing kecamatan, termasuk di Kecamatan Temon.

Sebagai bahan yang digunakan di dalam reaktor biogas, kotoran sapi dan kerbau adalah bahan dasar berpotensi yang lengkap, dan terdiri dari molekul berstruktur sederhana sehingga mudah dirombak oleh bakteri. Kotoran ternak banyak digunakan karena mudah diproses menjadi *slurry* yang homogen. C/N rasio kotoran ternak pun juga baik, karena memiliki nilai mendekati 30 sebagai nilai optimum bahan dasar biogas. Adapun komposisi kotoran sapi diantaranya adalah: *Dry Matter (DM)* 17,63%, *Volatile Solids (VS)* 13,65, C/N Rasio 32,10 (Nijaguna, 2006).

Untuk pemilihan kotoran ternak menjadi bahan dasar biogas, perlu kiranya mengetahui keadaan bahan dasar kotoran

sebelum digunakan dalam proses degradasi secara anaerobik. Dalam studi ini yang dipilih adalah penggunaan kotoran sapi yang dikeringkan di atas *concrete pad* sebagai bahan dasar biogas. Hal tersebut dipilih dengan mempertimbangkan ketersediaan kotoran yang tersebar di seluruh wilayah kecamatan Temon, serta tidak dapat dikumpulkan setiap hari. Penggunaan *concrete pad* diharapkan untuk memperoleh kotoran sapi kering yang lebih bersih dan dibangun sendiri oleh peternak dengan subsidi dari pemerintah Kabupaten Kulon Progo.

a) Hasil perhitungan dan Dimensi Reaktor Biogas Serta kelengkapannya.

Loading rate = 125.000 liter/hari = 125 m³/hari
 Tanki Pengadukan D_{mt} = 3,2 m, Hmt = 2 x 3,2 m = 6,4 m
 Diameter pipa tanki pengadukan ke reaktor: Dp = 1,1 m
 Ukuran Reaktor D = H = 17,4 m
 Diameter pipa discharge (pengosongan slurry) Dp = 2,1 m
 Produksi Biogas/metan 1.700 m³ biogas/hari = 952 m³ metan/hari
 Volume Gas Holder = 1.190 m³ dengan ukuran D = 14,5 m, H = 7,25 m
 Volume tanki sludge = 50.600 m³, dengan Dst = 61 m, Hst=17,4 m

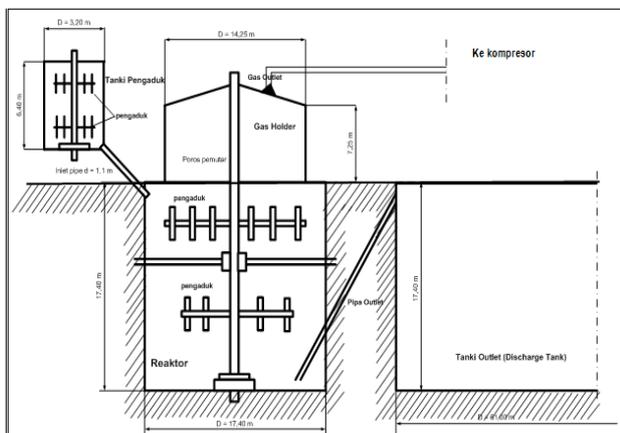
b) Penggunaan Biogas

Bila tiap tabung mampu menyimpan 12 kg biogas dan massa jenis biogas 1,2 kg/m³, berarti produksi biogas apabila dikonversikan ke dalam satuan massa adalah:
 Produksi biogas harian = 1.700 m³ x 1,2 kg/ m³ = 2.040 kg biogas/hari = 170 tabung/hari.
 Jumlah keluarga yang dibantu 1.030 keluarga miskin dan dapat ,menggunakan satu botol dalam 6 hari

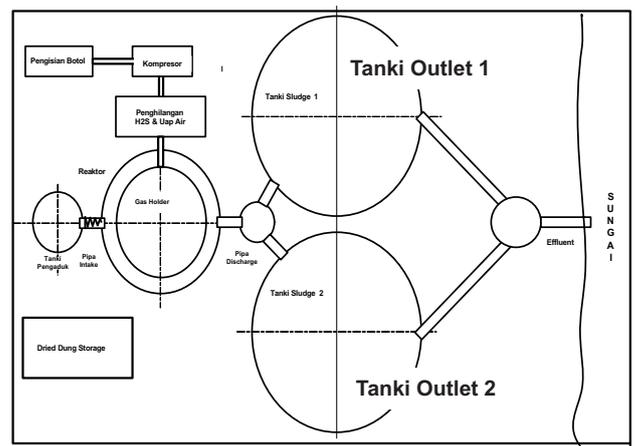
c) Tinjauan Ekonomi

Total biaya beserta bunga = 3.465.000USD
 Total pendapatan selama umur biogas = 8.594.758 USD
 Total biaya selama 20 tahun = 4.316.000 USD
 Total keuntungan dalam 20 tahun = 4.278.758 USD
 atau = 17.828 USD/bulan

d) Rancangan Instalasi Reaktor Biogas



Gambar 9 Rancangan Reaktor Biogas



Gambar 10 Instalasi Reaktor Biogas Skala Masal

Reaktor dirancang dengan posisi reaktor berada di dalam tanah sehingga yang berada di atas tanah adalah tanki pengaduk dan *gas holder*-nya. Hal tersebut dilakukan agar memudahkan dalam memasukan slurry ke dalam reaktor. *Outlet tank* terbuat dari beton dan berfungsi untuk menampung *sludge* yang keluar dari dasar reaktor sebagai *effluent* dengan waktu tinggal 100 hari. Selama waktu tersebut padatan akan mengendap di dasar tanki dan yang keluar menuju sungai hanyalah air yang relatif sudah bersih dari *sludge* yang dikhawatirkan akan mengganggu sungai. Tanki *outlet* dibuat 2 buah dengan maksud agar bila salah satu tanki penuh maka aliran dipindahkan ke tanki yang lainnya, sehingga ada kesempatan untuk pengurusan serta pengambilan *sludge* sebagai pupuk.

4. Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan atas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. *Volatile solid* yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 21,04 % untuk limbah organik kota, dan 25,89 % untuk simulator sampah.
- b. Dari analisis sidik ragam akumulasi biogas sampah organik kota dan simulator sampah, menunjukkan ada beda sangat nyata antar perlakuan. Berdasarkan analisis kurva akumulasi biogas, potensial biogas sampah organik kota Borås Swedia adalah 832,89 ml/g VS pada perlakuan 2% VS. Sedangkan menurut hasil analisis persamaan garis regresi polinomial derajat 2, secara matematis diperoleh potensial biogas 864,5 ml/g VS pada 1,66 %VS. Sementara dari kurva akumulasi produksi biogas dan metan menunjukkan bahwa potensial biogas dan metan untuk simulator sampah 982,89 ml//g VS dan 369,46 ml/g VS pada perlakuan 1,5% VS. Hasil analisis grafik regresi polinomial derajat 3, secara matematis diperoleh potensial biogas 1.147,38 ml/g VS pada 1,49%VS, serta potensial metan 447,30 ml/g VS pada 1,47% VS.
- c. Hasil pengukuran pH *sludge* dari sampah organik kota menunjukkan bahwa sampel tiga kali ulangan B, C, dan D antara 7,2 – 8,2. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat produksi biogas/metan pada rentang area yang stabil, dan biogas yang dihasilkan cukup signifikan. Untuk sampel E (3%VS), pH sampel tiga ulangan E1, E2, dan E3

dibawah 6,5 (nilai pH rata-rata 5,78). *Substrate* dengan kandungan 3% atau lebih justru menghambat produksi biogas. Hal ini berarti dengan kandungan *substrate* 3% atau lebih viskositas/kekentalan *slurry* di dalam reaktor terlalu pekat, sehingga produksi biogas justru terhalang oleh kelebihan *substrate* itu sendiri. Demikian pula hasil pengukuran pH sludge simulator sampah. Sampel tiga kali ulangan B, dan C memiliki pH antara 7,70 – 7,96. Nilai tersebut berada pada tingkat produksi metan yang optimum. Sedangkan sampel tiga ulangan D dan E memiliki nilai pH 5,67 dan 5,33. Nilai tersebut lebih rendah dari 6,5, dan berarti bakteri methanogen tidak dapat berkembang dan produksi metan terhenti. Penurunan pH sampel D dan E merupakan cerminan adanya penghalang oleh *substrate* dari sampel. Serta terlalu pekatnya *slurry*.

Perancangan reaktor biogas dengan menggunakan limbah kotoran yang sudah dikeringkan dari 4.000 ekor sapi, diperoleh produksi biogas sebanyak 1.700 m³/hari atau 952m³ metan/hari, serta mampu untuk membantu sebanyak 1.030 keluarga. Biaya investasi instalasi biogas yang dibutuhkan adalah sebesar 3.465.000 USD yang diperoleh dari pinjaman dengan suku bunga 10 %/tahun selama 10 tahun. Reaktor biogas direncanakan mampu beroperasi selama 20 tahun dengan keuntungan sebanyak 4.278.758 USD atau 17.828 USD/bulan.

Daftar Pustaka

- Andrew Barnett et.al, 1985, Biogas Technology in the Third World: A Multidisciplinary Review, IDRC, Kathmandu, Nepal
- Dieter Dublein dan Angelika Steinhauer. 2008, Biogas from Waste and Renewable Resources, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.KG&A, Deggendorf, Germany.
- Djoko Said Damardjati, 2006. Program Bio Energi Pedesaan Biogas Skala Rumah Tangga, Dirjen Pengolahan Hasil Pertanian, Jakarta.
- Gerardi, Michael H, 2003. The Microbiology of Anaerobic Digesters, John Wiley & Sons inc, New Jersey.
- Karki, Amrit.B,1996. Biogas Technology: A Training manual for Extension, Consolidated Management service Nepal, Kathmandu.
- Kwanchai A. Gomez,1995.Prosedur Statistik Untuk Penelitian Pertanian, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Michael Chesshire, 2005. Biogas from Energy and Agrowastes; Process Calculations for Full S995scale Digester, Greefich Limited, England.
- Mohamed Najib Sannaa, 2008. The Development of Biogas Technology in Denmark: Achievements & Obstacles, Department of Environment, Technology and Social Studies Roskilde University RUC, Denmark.
- Nijaguna, B.T, 2002.Biogas Technology, New Age International Publisher, New Delhi.
- Sundar Bajgain, 1994, Nepal Biogas Plant, Construction Manual for GGC 2047 Model Biogas Plant, Biogas Support Programme (BSP), Kathmandu, Nepal
- Trine L. Hansen et.al, 2003, Method for Determination of Methane Potentials of Solid Organic Waste, Department of Water and Environmental Technology, Lund Institute of Technology, University of Lund, Lund, Sweden.
- Upendra Gautam,1996, Biogas Technology, A Training Manual for Extensions, Consolidated Management Service Nepal Ltd, Nepal.
- Yadvika, 2004, Enhancement of Biogas Production From Solid Substrate Using Different Techniques, Centre for Rural Development and Technology, I.I.T, New Delhi, India
- Alvares R., Villca S. & Linden G, 2005, Biogas Production from Llama and Cow Manure at High Altitude, Biomass and Bioenergy 30 (2006) 66-75, Elsevier Ltd.
- Eddy Nurtjahya, 2003, Pemanfaatan Limbah Ternak Ruminansia Untuk Mengurangi Pencemaran Lngkungan, Makalah Pengantar Falsafah Sains, Institut Pertanian Bogor
- Paul Henderson. 1993. Anaerobic Digestion in Rural China, paul_henderson@city.vancouver.bc.ca, Vancouver, B.C. Canada.
- Sri Wahyono,2005. Teknologi Pengomposan untuk Atasi Sampah, <http://64.203.71.11/kompas-cetak/0401/12/humaniora/792579.htm>, 09.09.2008
- Steve Last, 2008. Biogas Methane Explained & Other Articles, <http://www.anaerobic-digestion.com>, Chartered Environmentalist/12.04.2008.
- Wikipedia, 2007. Anaerobic Digestion. Online: /23.03.2008
- Wikipedia, 2007. Waste to Energy. Online: <http://en.wikipedia.org/wiki/Waste-to-energy/> 23.03.2008
- http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_natural_gas, Compressed Natural Gas
- <http://www.geoindo.com/landslide.htm> . Tragedy of Leuwigajah Bandung's Landfill in February 2005, 22.04.2008
- <http://unapcaem.org/Activities%20Files/A01/Raw%20material%20for%20biogas%20situation%20in%20Thailand.pdf>: Raw Material for biogas situation in Thailand
- <http://io.ppi-jepang.org/article.php?id=199>, Biogas Sebagai Energi Terbarukan, 29.01.2008
- <http://www.inilah.com/berita/ekonomi/2008/09/06/48205/harga-minyak-jatuh-di-us-10623/> 09.09. 2008
- http://www.nyserda.org/energy_information/nyeph.asp, 9 september 2008
- http://www.bphmigas.go.id/p/bphmigaspages/modules/events/event_0033.html?uri=/bphmigaspages/9september2008
- <http://detikvyogakarta.net/2008/09/06/harga-sembako-di-yogyakarta-tahun-2008/>
- http://walhijogja.or.id/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=3/09.09.2008