MINI DIGESTER UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK MENJADI BIOGAS DAN DAMPAK TERHADAP PENGURANGAN EMISI

MINI DIGESTION TO PRODUCE BIOGAS FROM ORGANIC WASTE AND IMPACT ON REDUCING EMISSIONS

Rinjani Ratih Rakasiswi¹, Wivina Diah Ivontianti¹, Eva Pramuni Sitanggang¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

Email : rinjani_s@yahoo.com

Abstract

Organic waste is material that has no value but can be used as raw material to produce biogas. It is easier to handle by anaerobic processing. The advantages of biogas by using anaerobic digestion process are minimizes the effects of environmental pollutions, reduce emissions and increase the value of the benefits of waste. The purposes of this research are to design a digester for processing organic waste into biogas and find out the impact of biogas production on emissions reduction. Biogas production was analyzed using gas Chromatography (GC) and emission reductions were calculated using the AP-42 (Compilation of Air Pollutant Emissions Factors) equation. The digester used is a CSTR which is suitable for liquid phase and for organic chemical reactions with large conversions. Parameters that affect the performance of the reactor are the residence time on the flow of substances in the reactor, Hydraulic Retention Time (HRT). HRT can affect the growth of fermentative bacteria correlation with the production of biogas. The optimum volume of biogas of 16.52 Liters / Day with the acquisition of CH₄ of 75,893.36 ppm was on the 13th day in a variation of HRT 20. Every 20 kg of organic waste that has been processed in the digester, it will be reducing 76.5 g / day of CO emissions.

Keywords: anaerobic digestion, CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor), HRT (Hydraulic Retention Time), trash

Abstrak

Sampah organik merupakan bahan yang tidak mempunyai nilai atau tidak berharga tetapi dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biogas, karena lebih mudah untuk ditangani dan dapat dilakukan dengan proses anaerobik. Kelebihan dari biogas dengan menggunakan proses *anaerobic digestion* akan meminimalkan efek dari pencemaran lingkungan, mengurangi emisi dan meningkatkan nilai manfaat dari limbah. Tujuan penelitian ini adalah merancang digester untuk pengolahan sampah organik menjadi biogas dan mengetahui dampak produksi biogas yang dihasilkan terhadap pengurangan emisi. Produksi biogas dianalisa menggunakan *Chromatografi gas* (GC) dan pengurangan emisi dihitung menggunakan persamaan AP-42 (*Compilation of Air Pollutant Emissions Factors*). Digester yang digunakan merupakan reaktor tipe alir tangki berpengaduk/CSTR untuk reaksi fase cair dan juga digunakan untuk reaksi kimia organik dengan konversi yang besar. Parameter yang mempengaruhi kinerja reaktor yaitu waktu tinggal pada zat alir di dalam reaktor atau disebut dengan *Hydraulic Retention Time* (HRT). HRT dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri *fermentatif* yang terkait dengan hasil produksi biogas. Hasil volume biogas optimum sebesar 16,52 Liter/Hari dengan perolehan CH₄ sebesar 75.893,36 ppm berada di hari ke-13 pada variasi HRT 20. Sampah organik sebanyak 20 kg diolah di digester mengurangi 76,5 g/hari emisi CO.

Kata kunci: *anaerobic digestion*, CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*), HRT (*Hydraulic Retention Time*), sampah.

PENDAHULUAN

Kelangkaan sumber energi merupakan permasalahan yang ada di Indonesia terutama untuk bahan bakar fosil, baik dalam keperluan rumah tangga maupun untuk industri dan transportasi. Dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Kebijakan tersebut menekankan pada pengembangan dan pemanfaatan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak (Ditjen PPHP, 2010).

Salah satu bahan baku yang berpotensi dalam pembuatan energi alternatif adalah sampah organik pasar yang merupakan bahan yang tidak mempunyai nilai atau tidak berharga dan dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitar. Dengan demikian penggunaan sampah yang berbahan organik selain dapat mengatasi pencemaran lingkungan juga dapat menghasilkan sumber energi terbarukan.

Sumber energi dibuat merupakan biogas yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik. Kelebihan dari pembuatan biogas dengan menggunakan proses *anaerobic digestion* akan meminimalkan efek dari pencemaran lingkungan dan meningkatkan nilai manfaat dari limbah. Selain itu juga dapat menghasilkan produk samping seperti *sludge* atau biasanya disebut dengan *effluent* yang digunakan untuk pupuk tanaman. Dalam penelitian ini dilakukan dengan penambahan kotoran sapi agar peruraian pada produksi biogas menjadi efektif. Kotoran sapi berfungsi sebagai *starter* pada proses biogas karena sudah mengandung gas metan (CH_4) yang dapat mempercepat proses peruraian (Yulistiawati, 2008).

Pembuatan biogas pada penelitian ini menggunakan CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) yang digunakan untuk reaksi fase cair dan biasanya digunakan untuk reaksi kimia organik dengan konversi yang besar. Keberhasilan operasi suatu proses pengolahan bergantung pada efektifnya pengadukan dan pencampuran zat cair dalam proses pembuatan biogas.

Selain itu terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja reaktor CSTR yaitu waktu tinggal pada zat alir didalam reaktor atau disebut dengan *Hydraulic Retention Time* (HRT). Menurut Ogejo dkk., (2009) HRT adalah waktu saat liquid berada di dalam reaktor anaerobik, HRT perlu diperhatikan dalam operasional bioreaktor khususnya dalam produksi gas metan karena HRT dapat mempengaruhi laju pertumbuhan dari mikroorganisme anaerobik. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi HRT untuk mengetahui kinerja CSTR dalam penguraian sampah organik pasar secara anaerobik.

Karbon dioksida (CO_2) adalah gas rumah kaca utama yang dipancarkan melalui aktivitas manusia. Pada 2017, CO_2 menyumbang sekitar 81,6 persen dari semua emisi gas rumah kaca di Amerika Serikat dari aktivitas manusia (Muntean dkk, 2018). Karbon dioksida hadir secara alami di atmosfer sebagai bagian dari siklus karbon Bumi (sirkulasi alami karbon di antara atmosfer, lautan, tanah, tanaman, dan hewan). Budaya membakar sampah memperburuk keadaan polusi lingkungan.

Jika dilakukan pemisalan dengan basis 1 ton sampah kota/hari yang dibakar secara terbuka dihitung dengan menggunakan persamaan untuk menggambarkan emisi (U.S. EPA, 2003) yaitu:

$$E = AD \times EF \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

E = tingkat emisi
 AD = data aktivitas yang menghasilkan emisi
 EF = faktor emisi

Tabel 1. Faktor Emisi

Polusi	Faktor Emisi (g/Kg sampah dibakar)	Sumber
SO _x	0,45	AP-42 (EPA, 1995a)
CO	38,35	AP-42 (EPA, 1995a)
CH ₄	5,85	AP-42 (EPA, 1995a)
NO _x	2,7	AP-42 (EPA, 1995a)

(Sumber: Open Burning EPA Reveised Final, 2001)

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan CSTR (*Continue Stirred Tank Reactor*) yang dibuat menggunakan drum yang berkapasitas 250 L, dilengkapi dengan motor listrik dan pengaduk, *crusher* dan blender, gasometer, tanur, *Gas Chromatografi*, dan pH meter.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sampah organik atau limbah organik dari Pasar Flamboyan kota Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat dengan menggunakan kotoran sapi (*starter*) yang diperoleh dari warga yang berada di Kuala Dua, Kubu Raya.

Rangkaian Alat

Gambar 1. Rangkaian Alat CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*)

Setting Reaktor CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*)

Reaktor CSTR terbuat dari drum plastik berbahan *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan kapasitas volume total 250 L. Pada reaktor CSTR ini terdiri dari komponen – komponen seperti saluran masuk substrat (*inlet*), saluran keluar residu (*outlet*), pengaduk, motor listrik dan saluran keluar biogas yang dihubungkan ke gasometer. Proses pada reaktor CSTR dilakukan secara kontinu, yaitu jumlah masuknya substrat ke dalam reaktor sama dengan juga jumlah residu yang keluar dari outlet.

Saluran masuk (*inlet*) digunakan untuk memasukkan substrat yang telah disiapkan untuk sistem secara kontinu serta digunakan pula untuk pengisian awal antara substrat dan *starter* ke dalam reaktor. Banyaknya substrat dan *starter* yang masuk ke dalam reaktor adalah $\frac{3}{4}$ dari volume total reaktor yaitu sebanyak 132 L. Substrat dan *starter* yang sudah masuk ke dalam reaktor akan dilakukan proses pengadukan dengan menggunakan mesin dinamo selama 12 jam dengan interval pengadukan 2 jam sekali dengan durasi selama 15 menit.

Kinerja Anaerobik Digestion dengan CSTR Kontinyu (HRT)

Substrat yang digunakan dalam pengoperasian reaktor CSTR berasal dari sampah organik pasar yang terdiri dari limbah potong hewan, sampah sayur dan sampah buah. Sampah organik pasar tadi dihancurkan hingga menjadi bagian-bagian kecil menggunakan mesin *crusher* dan dilakukan perbandingan antara substrat dan air 1 : 1. Kemudian untuk *starter* ditambahkan air dengan perbandingan 1 : 1. Kemudian untuk umpan yang akan dimasukkan ke dalam reaktor, dilakukan antara *starter* dan substrat dengan perbandingan 1 : 1 dan dilakukan proses pengadukan antara substrat dan *starter* dilakukan selama 2 jam sekali dengan durasi selama 15 menit yang dioperasikan selama 12 jam. Setelah itu dilakukan proses *start up* secara batch hingga sistem peruraian anaerobik stabil dengan menentukan pada titik stasioner atau dimana volume biogas yang dihasilkan mencapai titik tertinggi dan stabil, yang dapat ditinjau dari volume biogas yang dihasilkan disetiap hari.

Setelah tahapan proses *start up* selesai, reaktor akan dioperasikan pada beberapa variasi HRT yang diubah secara bertahap. *Feeding* umpan dilakukan dengan perbandingan substrat dan air 2 : 1. Proses pengumpanan substrat dilakukan dengan variasi HRT 25 hari, 20 hari, 15 hari secara bertahap, dimana jumlah volume *feeding* yang masuk disesuaikan dengan HRT. Perhitungan HRT dapat dilihat dari Rumus HRT (Tchobanoglous dkk., 1991):

$$\text{HRT} = V/Q \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- HRT = Hydraulic Retention Time (hari)
- V = volume reaktor (L)
- Q = laju aliran influen (L/jam)

Dari rumus di atas sehingga didapatkan pada HRT 25 jumlah pemasukkan *feeding* kedalam reaktor sebanyak 5,28 L/Hari, HRT 20 sebesar 6,6 L/Hari dan HRT 15 sebesar 8,8 L/Hari, dari hasil tersebut menyatakan bahwa semakin kecil atau singkat HRT maka jumlah volume *feeding* masuk ke dalam reaktor juga semakin besar.

Analisis Data

Volume Biogas

Volume gas (V) diukur dengan menggunakan gasometer, yaitu berupa silinder tertutup atau kolom yang sebagian terendam dalam wadah terbuka yang berisi air garam sebagai *barrier solution* yang berisi air garam 75% jenuh dengan pH = 2. Gas mengalir ke kolom melalui kutub bawah yang terhubung langsung ke reaktor. Gas yang masuk ke dalam kolom *high gasometer* ini akan menggantikan *barrier solution* ke dalam wadah (Walker dkk., 2009).

Gas Metan (CH₄)

Analisis gas metana pada biogas menggunakan *gas chromatography* di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan). Pengambilan gas dilakukan dengan menggunakan *syringe* sebanyak 10 mL kemudian disimpan dalam *venoject* untuk dilakukan analisa gas metan.

Pengurangan Emisi

Persamaan yang digunakan untuk menghitung emisi (U.S. EPA, 2003) yaitu:

$$E = AD \times EF \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

E = tingkat emisi

AD = data aktivitas yang menghasilkan emisi

EF = faktor emisi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fase *Kontinyu*

Tahap ini reaktor dioperasikan dengan volume total cairan 132 L di dalam digester. Reaktor dioperasikan selama 12 jam dari pukul (08.00 pagi sampai 20.00) dengan dilakukan interval pengadukan 2 jam sekali dengan durasi selama 15 menit. Dengan adanya pengadukan, massa substrat tidak mengumpul di lapisan paling bawah dan pada saat pengumpanan *feeding* substrat tercampur dengan sempurna di dalam digester. Jika tanpa adanya pengadukan dapat mengakibatkan sebagian massa bakteri mengumpul di lapisan bawah, sedangkan substrat untuk didekomposisi sering terkumpul di lapisan atas. Dalam kasus ini, sedikit degradasi yang akan berlangsung. Selain itu, beberapa padatan mengapung ke atas permukaan membentuk lapisan sampah (padat/kerak) yang membuat gas lebih sulit untuk keluar.

Selanjutnya, pada HRT 25 jumlah pemasukkan *feeding* ke dalam reaktor sebanyak 5,28 L/Hari, HRT 20 sebesar 6,6 L/Hari dan HRT 15 sebesar 8,8 L/Hari. *feeding* dilakukan setiap hari untuk melihat atau menguji kemampuan reaktor mengolah substrat yang dinyatakan sebagai efisiensi digester. Waktu retensi yang diterapkan untuk memastikan bahwa jumlah mikroorganisme yang hilang bersamaan limbah substrat (digester) tidak lebih tinggi dari jumlah mikroorganisme yang diproduksi ulang, artinya pada kondisi tersebut merupakan suatu keadaan batas kemampuan sejumlah mikroba untuk mendegradasi suatu substrat setiap harinya, atau dapat dikatakan sebagai perbandingan antara jumlah substrat dan kapasitas konsumsi substrat dari sejumlah mikroba pada digester.

Pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada Volume Biogas

Pengukuran volume biogas pada penelitian ini dilakukan setiap hari agar dapat mengontrol gas yang dihasilkan setiap melakukan feeding umpan. Hasil pengukuran volume biogas yang menggunakan gasometer ditunjukkan pada grafik di bawah ini :

Gambar 2. Hasil volume biogas pada variasi HRT

Dapat dilihat dari grafik bahwa volume biogas yang dihasilkan terjadi peningkatan pada HRT 25 , tetapi pada hari ke-4 terjadi penurunan volume yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena sistem mikroorganisme di dalam reaktor masih beradaptasi dan masih tahap asidogenesis, sehingga produksi biogas menurun yang dipengaruhi dari nilai pH yang dihasilkan. Selanjutnya pada HRT 20 volume biogas yang dihasilkan semakin meningkat, padahal beban organik yang dihasilkan pada HRT ini lebih banyak. Hal ini dikarenakan sistem mikroorganisme di dalam reaktor tumbuh berkembang dengan baik, tetapi tidak pada di HRT 15.

Selanjutnya, pada HRT 15 dihasilkan volume biogas yang tidak optimal atau adanya penurunan volume. Hal ini dikarenakan terjadinya *wash out* pada mikroorganisme dalam reaktor saat pengeluaran *effluent*, sehingga sistem di dalam reaktor belum mampu berada pada HRT yang singkat yaitu di HRT 15. Beberapa faktor yang mempengaruhi volume biogas menurun, kemungkinan besar aktivitas metanogeniknya menurun yang dipengaruhi oleh nilai pH yang dihasilkan dan juga terjadinya *wash out* karena semakin singkat variasi HRT yang dilakukan maka semakin banyak konsentrasi yang digunakan pada saat *feeding* dan pengeluaran *effluent* (in = out). Dapat disimpulkan bahwa volume yang paling optimal pada produksi biogas yang dihasilkan berada dihari ke-13 pada variasi HRT 20 sebesar 16,52 Liter/Hari.

Pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada CH₄

Sampel biogas (CH₄) diambil langsung dari digester dan dianalisa sebagai hasil data. Data tersebut didapat dengan menguji sampel menggunakan *gas chromatografi* (GC) di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balintan), Pati, Jawa Tengah.

Gambar 3. Hasil kadar CH₄ pada produksi biogas

Dari hasil CH₄ grafik diatas pada variasi HRT 25 mendapatkan hasil paling rendah dari di berbagai variasi HRT yang dilakukan pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan aktivitas metanogen masih beradaptasi pada konsentrasi dan substrat yang diberikan setiap hari yang disesuaikan pada variasi HRT. Pada variasi HRT 20 gas metan yang dihasilkan meningkat, yang dikarenakan konsentrasi metana yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh lamanya waktu tinggal bakteri yang didukung dengan tersedianya bahan organik didalam reaktor. Seperti yang dijelaskan Gamayanti dkk., (2012) menyatakan bahwa hasil peningkatan produksi metan disebabkan oleh bakteri yang semakin lama tinggal didalam digester maka bakteri sudah beradaptasi dalam lingkungan digester, sehingga bila nutrien yang ada dalam digester masih ada maka pertumbuhan bakteri pembentuk gas metan masih berjalan dan produksi biogas masih dihasilkan.

Pada hari ke-21 di variasi HRT 15, CH₄ yang dihasilkan kembali turun. Hal ini kemungkinan dapat disebabkan oleh adanya pengaruh penambahan nutrisi yang semakin meningkat sebagai sumber energi untuk bakteri anaerobik sehingga terjadinya *wash out*. maka dari itu di dalam reaktor belum mampu berada pada HRT yang singkat yaitu di HRT 15.

Hubungan antara konsentrasi metana dengan ketersediaan bahan organik serta produktivitas bakteri dapat dikatakan berbanding lurus, karena semakin besar produktivitas bakteri asidogen maka semakin besar pula produktivitas bakteri metanogen karena tersedianya substrat yang cukup untuk membentuk metana (Harahap, 2007). Namun untuk produksi biogas tidak dapat dijadikan acuan bahwa hasil metana yang dihasilkan juga tinggi. Dikarenakan bahan organik yang diubah oleh bakteri tidak sepenuhnya menjadi gas metana. Tetapi ada gas-gas lainnya yang ikut terbentuk akibat perombakan yang tidak seimbang seperti CO₂, H₂S, N₂, dan H₂ yang kemudian ikut terakumulasi sebagai volume biogas. Pada Hasil CH₄ optimum pada penelitian ini didapatkan di HRT 20 hari ke-14 sebesar 75893,36 ppm. Dapat dibuktikan, alasan kenapa hasil CH₄ di variasi HRT 20 hari ke-14 mencapai kondisi optimum, dikarenakan nilai pH yang dihasilkan pada variasi tersebut mencapai nilai pH 6,5. Dapat disimpulkan bahwa hasil CH₄ juga sangat terpengaruh terhadap nilai pH, karena bakteri di dalam reaktor sangat sensitif terhadap pH. Bakteri anaerob penghasil gas metan dapat bekerja dengan baik membutuhkan nilai pH optimal antara 6,2-7 (Weimer et al., 1999).

Dari Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil metana (CH₄) yang dihasilkan mencapai kondisi yang optimal yang dikarenakan semakin besar HRT atau semakin singkat HRT, maka hasil gas metan juga semakin besar. Tetapi pada

variasi HRT 15 yang terjadi penurunan dikarenakan beberapa faktor, yaitu bahan isian (*feeding*) yang dimasukkan kedalam reaktor semakin besar mengakibatkan mikroorganisme ikut keluar sebagai *effluent* dan juga dapat mengakibatkan nilai pH menurun sehingga menjadikan faktor gas metan (CH_4) yang dihasilkan menjadi sedikit.

Pengaruh Pengolahan Sampah Organik di Mini Plant Digester terhadap pengurangan Emisi

Parameter yang menyumbangkan emisi terbesar akibat pembakaran sampah kota secara terbuka maupun pembakaran limbah pertanian (sawah) secara terbuka ialah karbon monoksida (CO). Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, pembakaran 1 ton sampah kota secara terbuka/hari akan menghasilkan 38.250 g/hari emisi CO. Keberadaan gas CO di udara berbahaya bagi manusia karena gas CO akan mengikuti peredaran darah dan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Pengolahan limbah organik menjadi biogas dengan mini digester yang berkapasitas 150-200kg/hari dapat membantu mengurangi emisi 38.250 gCO/hari.

KESIMPULAN

Pengolahan sampah organik pasar dengan menggunakan reaktor berkontinyu (CSTR) mampu mengubah senyawa organik menjadi biogas yang mengandung gas metana yang tinggi. Semakin singkat HRT maka pengolahan sampah pasar dengan CSTR semakin baik dimana hasil pengolahan dengan HRT terbaik didapatkan dengan volume biogas yang dihasilkan dihari ke-13 pada variasi HRT 20 sebesar 16,52 Liter/Hari, CH_4 optimum sebesar 75893,36 ppm. Sampah organik sebanyak 20 kg diolah di digester mengurangi 76,5 g/hari emisi CO.

DAFTAR PUSTAKA

- Ditjen PPHP, Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Perikanan, 2010, Peraturan Direktur Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian No. PER.05/DJ-P2HP/2006 tentang Pedoman Teknis Penerapan Sistem Jaminan Mutu dan Keamanan Hasil Pertanian, Jakarta, Ditjen PPHP, DKP
- Gamayanti, Kuntty N., Pertiwinigrum, Anwar., Mira, Y.L. 2012, Pengaruh Penggunaan Limbah Cairan dan Lumpur Gambut sebagai Starter dalam Proses Fermentasi Metanogenik, *Buletin Perternakan* Vol.36 No. 1 : 32-39
- Harahap, V., 2007, Uji beda komposisi campuran kotoran sapi dengan beberapa jenis limbah pertanian terhadap biogas yang dihasilkan, Fakultas Pertanian, Medan, Universitas Sumatera Utara
- Muntean dkk. 2018, Fosil Emisi CO_2 dari Semua Negara di Dunia- Laporan 2018, EUR 29433 EN, Kantor Publikasi Uni Eropa, Luksemburg.
- Manurung R., 2004, *Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit*. Universitas Sumatra Utara
- Ogejo, J.A., Whn, Z., Ignosh, J., Bendfeldt, E., dan Collins, E. R., 2009, *Biomethane Technology. Virginia Cooperative Extention Publication, Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University*. 1-5
- Tchobanoglous G, dkk, 1991, *Waste Water Engineering Treatment and Reuse*. The McGraw-Hill Companies. Inc, Unitd State, 1-222
- U.S. EPA, 2003, *2001 Toxics Release Inventory Executive Summary*, Office of Environmental Information, Washington

- Widarti N, Budi dkk, 2012, *Degradasi Substrat Volatile Solid pada Produksi Biogas dari Limbah Pembuatan Tahu dan Kotoran sapi*. Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta
- Walker. M., Zhang.Y., Heaven.S., Banks. C., 2009, *Potential Error in the Quantitative Evaluation of Biogas Production in Anaerobic Digestion Processes*, Journal of Bioresource Technology, 100: 6339-6346
- Weimer, David L dan Vining, Aidan R., 1999, *Policy Analysis : Concept and Practice*, third edition, Prectice Hall. New Jersey
- Yulistiawati, E., 2008, *Pengaruh Suhu dan C/N Rasio Terhadap Produksi Biogas Berbahan Baku Sampah Organik Sayuran*. Bogor. IPB