

# Analisis Kesetaraan Nilai Kalor LPG dengan Biogas dari Biodigester Skala Rumah Tangga

Samnur<sup>1)</sup> Andi Muhammad Irfan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar

Jl. Daeng Tata Raya Parangtambung

## Abstrak

*Gas metana terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik oleh metan atau disebut juga bakteri anaerobik yang mengurai sampah-sampah yang mengandung bahan organik sehingga terbentuk gas metan ( $CH_4$ ) yang apabila dibakar dapat menghasilkan energi panas. Gas metana sama dengan gas LPG (Liquid Petroleum Gas), perbedaannya adalah gas metana mempunyai satu atom C, sedangkan elpiji memiliki atom C yang lebih banyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesetaraan nilai kalao LPG dengan biogas dari biodigester skala rumah tangga. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan agustus sampai dengan November 2011 di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai kalor bersih biogas yang dihasilkan dari biodigester skala rumah tangga sebesar  $19,8 \text{ Joule/cm}^3$ , setara dengan  $0,33 \text{ kg LPG}$  dan masih jauh di bawah nilai kalor LPG, demikian pula dengan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan biogas. akan tetapi cukup menguntungkan karena dapat mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil yang ketersediaannya terbatas dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Selain itu bahan bakar gas bio bersih tidak menghasilkan asap.*

**Kata kunci:** Nilai kalor, Biogas, LPG

## I. PENDAHULUAN

Masalah lingkungan global dan persediaan yang terbatas merupakan masalah penting yang dihadapi oleh manusia saat ini. Permasalahan tersebut dapat diatasi apabila tidak tergantung pada bahan bakar fosil dan menggunakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, murah, mudah diperoleh dan dapat diperbaharui. Salah satunya adalah energi gas bio yang merupakan energi yang layak dipergunakan baik secara teknis, sosial maupun ekonomis terutama untuk mengatasi masalah energi di daerah pedesaan.

Sementara itu, ketersediaan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas cukup memadai hanya saja belum menjadi perhatian. Terlihat dari masih banyaknya

kotoran sapi yang tidak terurus dan menumpuk di sebelah kandangnya atau dibuang begitu saja ke sungai. Akibatnya banyak persoalan muncul yang disebabkan oleh kotoran sapi seperti sungai menjadi dangkal, merusak pemandangan, bau yang tidak sedap, merusak ekosistem sungai, dan ditambah lagi dengan bibit penyakit yang dibawa oleh kotoran tersebut. Padahal jika kotoran sapi tersebut dimanfaatkan dengan baik akan mendatangkan keuntungan yang besar diantaranya mengurangi ketergantungan terhadap BBM (bahan bakar minyak) yang mahal dan terbatas ketersediaannya, dan juga mengurangi pencemaran lingkungan.

Kandungan gas bio didominasi oleh gas metana ( $CH_4$ ) yang merupakan hasil sampingan dari proses dekomposisi

mikroba pada suatu biomassa. Mikroba tersebut merupakan bakteri pembentuk metana yang banyak terdapat dalam tubuh hewan ruminansia (hewan yang memiliki perut ganda atau rumen) seperti kerbau, sapi, domba, kambing dan lain-lain.

Produksi gas metana dari biomassa bukan merupakan proses yang baru. Alexander Volta di abad 18 menemukan gas metana dalam gas yang dihasilkan rawa. Ide dan percobaan bagaimana proses itu dapat digunakan telah berjalan selama 100 tahun ke belakang (Meynell, 1976). Secara prinsip pembuatan gas bio sangat sederhana, dengan memasukkan substrat (kotoran hewan atau manusia) ke dalam unit pencernaan (digester), ditutup rapat, dan selama beberapa waktu gas bio akan terbentuk yang selanjutnya dapat digunakan sebagai sumber energi.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kesetaraan nilai kalor LPG dengan biogas dari biodigester skala rumah tangga.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. LPG dan Biogas

Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat dan cair) homogen seperti kotoran dan urin (air kencing) hewan ternak yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Komponen biogas:  $\pm 60\%$   $\text{CH}_4$  (metana),  $\pm 38\%$   $\text{CO}_2$  (karbondioksida),  $\pm 2\%$   $\text{N}_2$  (nitrogen),  $\text{O}_2$  (oksigen) dan  $\text{H}_2$  (hidrogen) serta  $\text{H}_2\text{S}$  (hidrogen sulfida). Biogas dapat dibakar seperti elpiji, dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik (Musnif dalam Lazuardy, 2008:4). Biogas dapat dijadikan

sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbaharukan.

Biogas yang didominasi oleh gas metana, merupakan gas yang dapat dibakar. Metana secara luas diproduksi di permukaan bumi oleh bakteri pembusuk dengan cara menguraikan bahan organik. Bakteri metanogenesis berperan dalam pembusukan. Bakteri ini terdapat di rawa-rawa, lumpur sungai, sumber air panas (*hot spring*), dan perut hewan herbivore seperti sapi dan domba. Hewan-hewan ini dapat memproses rumput yang dimakannya, bila tidak ada bakteri anaerobik yang memecah selulosa di dalam rumput menjadi molekul-molekul yang dapat diserap oleh perut hewan herbivora. Gas yang diproduksi oleh bakteri adalah gas metana (Meynell, 1976).

Gas metana terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik oleh metan atau disebut juga bakteri anaerobik yang mengurai sampah-sampah yang mengandung bahan organik sehingga terbentuk gas metan ( $\text{CH}_4$ ) yang apabila dibakar dapat menghasilkan energi panas. Gas metana sama dengan gas LPG (*Liquid Petroleum Gas*), perbedaannya adalah gas metana mempunyai satu atom C, sedangkan elpiji memiliki atom C yang lebih banyak.

LPG (*Liquid Petroleum Gas*) adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dengan massa jenis  $2,02 \text{ kg/m}^3$  dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) dengan massa jenis  $2,673 \text{ kg/m}^3$ . Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil seperti etana dan pentana.

Gas metan ( $\text{CH}_4$ ) adalah komponen penting dan utama dari gas bio karena merupakan bahan bakar yang berguna dan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, sifatnya tidak berbau dan tidak berwarna. Jika gas yang dihasilkan dari proses

fermentasi anaerobik dapat terbakar, berarti mengandung sedikitnya 45 % gas metan. Untuk gas metan murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m<sup>3</sup>. Ketika dibakar 1 ft<sup>3</sup> gas bio menghasilkan sekitar 10 BTU (2,52 kkal) energy panas per persentase komposisi metan (Harahap dalam Lazuardy, 2008:5).

## **B. Pengolahan Limbah Peternakan Sapi Menjadi Biogas**

Pengolahan limbah peternakan sapi menjadi biogas pada prinsipnya menggunakan metode dan peralatan yang sama dengan pengolahan biogas dari biomassa yang lain. Pada prinsipnya teknologi biogas adalah teknologi yang memanfaatkan proses fermentasi (pembusukan) dari sampah organik secara anaerobik (tanpa udara) oleh bakteri metan sehingga dihasilkan gas metan.

Menurut Haryati (2006:19-21), proses pencernaan anaerobik merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara, bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Gas metan (CH<sub>4</sub>) adalah gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar. Gas metan yang dihasilkan kemudian dapat dibakar sehingga dihasilkan energi panas. Bahan organik yang bisa digunakan sebagai bahan baku industri ini adalah sampah organik, limbah yang sebagian besar terdiri dari kotoran dan potongan-potongan kecil sisa-sisa tanaman, seperti jerami dan sebagainya serta air yang cukup banyak.

Proses fermentasi memerlukan kondisi tertentu seperti rasio C : N, temperatur, keasaman juga jenis digester yang dipergunakan. Kondisi optimum yaitu pada temperatur sekitar 32-35°C atau 50-55°C dan pH antara 6,8-8. Pada kondisi

ini proses pencernaan mengubah bahan organik dengan adanya air menjadi energi gas (Haudkora dalam Haryati, 2006:32).

Proses pencernaan anaerobik, yang merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga.

Menurut Haryati (2006:38), pembentukan biogas meliputi tiga tahap proses yaitu:

1. Hidrolisis, pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik mudah larut dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer).
2. Pengasaman, pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula-gula sederhana tadi yaitu asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butir, gas karbondioksida, hidrogen dan ammonia.
3. Metanogenik, pada tahap metanogenik terjadi proses pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hydrogen sulfida.

Cara pengoperasian unit pengolahan (digester) biogas seperti terjabar dalam seri Bioenergi Pedesaan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian Departemen Pertanian tahun 2009 sebagai berikut:

1. Buat campuran kotoran ternak dan air dengan perbandingan 1: 2.

2. Masukkan bahan biogas ke dalam digester melalui lubang pengisian (inlet) hingga bahan yang dimasukkan ke digester ada sedikit yang keluar melalui lubang pengeluaran (outlet), selanjutnya akan berlangsung proses produksi biogas di dalam digester.
3. Setelah kurang lebih 8 hari biogas yang terbentuk di dalam digester sudah cukup banyak. Pada sistem pengolahan biogas yang menggunakan bahan plastik, penampung biogas akan terlihat mengembung dan mengeras karena adanya biogas yang dihasilkan. Biogas sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar, kompor biogas dapat dioperasikan.
4. Pengisian bahan biogas selanjutnya dapat dilakukan setiap hari, yaitu sebanyak kira-kira 10% dari volume digester. Sisa pengolahan bahan biogas berupa sludge secara otomatis akan keluar dari lubang pengeluaran (outlet) setiap kali dilakukan pengisian bahan biogas. Sisa hasil pengolahan bahan biogas tersebut dapat digunakan sebagai pupuk kandang/pupuk organik, baik dalam keadaan basah maupun kering.

Biogas yang dihasilkan dapat ditampung dalam penampung plastik atau digunakan langsung pada kompor untuk memasak, menggerakkan generator listrik, patromas biogas, penghangat ruang/kotak penetasan telur dan lain sebagainya.

### C. Model Konstruksi Biodigester

Untuk menampung gas yang terbentuk dari kotoran sapi dapat dibuat digester biogas (biodigester). "Berdasarkan pengisiannya ada dua jenis biodigester, yaitu *batch feeding* dan *continous feeding*" (Wahyuni, 2008:18).

*Batch feeding* adalah jenis biodigester yang pengisian bahan organik dilakukan satu kali sampai penuh, kemudian sampai biogas dihasilkan. Telah biogas tidak berproduksi lagi atau

produksinya rendah isian digesternya dibuang lalu diisi kembali dengan isian yang baru.

*Continous feeding* adalah jenis digester yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu, setelah biogas berproduksi. Pada pengisian awal digester diisi penuh, kemudian ditunggu biogas berproduksi. Setelah berproduksi, pengisian bahan organik dilakukan secara kontinu setiap hari dengan jumlah tertentu. Setiap pengisian bahan organik yang baru selalu diikuti pengeluaran bahan sisa. Digester jenis *continous feeding* mempunyai dua model yaitu model tetap (*fixed*) dan model terapung (*floating*). Pada model *floating*, pengumpul gasnya terapung di atas sumur pencerna sehingga kapasitasnya akan naik turun sesuai dengan produksi gas yang dihasilkan dan pemanfaatan gas untuk memasak.

### D. Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari 3,50 °C – 4,50 °C, dengan satuan kalori. Dengan kata lain nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar di dalam zat asam. Makin tinggi berat jenis bahan bakar, makin tinggi nilai kalor yang diperolehnya. Misal bahan bakar minyak dengan berat jenis 0,75 mempunyai nilai kalor 11.700 kal/gr.

Tabel 1. Nilai Kesetaraan Biogas

| Aplikasi                   | 1 m <sup>3</sup> Biogas setara dengan |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1<br>m <sup>3</sup> biogas | Elpiji 0,46 kg                        |
|                            | Minyak tanah 0,62 liter               |
|                            | Minyak solar 0,52 liter               |
|                            | Kayu bakar 3,50 kg                    |

Sumber: Wahyuni (2008:45)

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan dan diukur sebagai nilai kalor kotor/*gross calorific value* (GCV). Perbedaannya ditentukan oleh panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran. GCV mengasumsikan seluruh uap yang dihasilkan selama proses pembakaran. Nilai kalor netto/*netto calor value* (NCV) mengasumsikan air yang keluar dengan produk pengembunan tidak seluruhnya terembunkan.

Gas bio mengandung berbagai macam zat, baik yang terbakar maupun yang dapat dibakar. Zat yang tidak dapat dibakar merupakan kendala yang dapat mengurangi mutu pembakaran gas tersebut. Seperti terlihat pada Tabel 1 walaupun kandungan kalornya relatif rendah dibanding dengan gas alam, butana dan propana, tetapi masih lebih tinggi dari gas batubara. Selain itu gas bio ramah lingkungan, karena sumber bahannya memiliki rantai karbon yang lebih pendek bila dibandingkan dengan minyak tanah, sehingga gas CO yang dihasilkan relatif lebih sedikit.

Tabel 2. Perbandingan nilai kalor gas bio

| Jenis Gas         | Nilai Kalor (J/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------|----------------------------------|
| Gas Batu Bara     | 16,7-18,5                        |
| Biogas            | 20-26                            |
| Gas Metana        | 33,2-39,6                        |
| Gas Alam          | 38,9-81,4                        |
| Gas Propana (LPG) | 81,4-96,2                        |
| Gas Butana        | 107,3-125,8                      |

Sumber: Meynel dalam Amaru (2005)

Nilai kalori gas bio tergantung pada komposisi metana dan karbondioksida, dan kandungan air di dalam gas. Gas mengandung banyak kandungan air akibat dari temperatur pada saat proses, kandungan air pada bahan dapat menguap dan bercampur dengan metana. Pada gas bio dengan kisaran normal yaitu 60-70%

metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalori antara 20 – 26 J/cm<sup>3</sup>.

Nilai kalori bersih dapat dihitung dari persentase metana seperti berikut (Meynel dalam Amaru, 2005: ) :

$$Q = k \times m \dots\dots\dots ( 1 )$$

Dimana:

Q = Nilai kalor bersih (joule/cm<sup>3</sup>)

k = Konstanta (0,33)

m = Persentase metana (%)

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan agustus sampai dengan November 2011 di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar.

#### B. Alat dan Bahan

##### 1. Alat

- a. Digester biogas skala rumah tangga model *Batch feeding* kapasitas 320 liter bahan isian
- b. Manometer tekanan
- c. *Stopwatch*
- d. Kompor gas

##### 2. Bahan

- a. Kotoran sapi
- b. Air
- c. EM4 (*effective Mikrooganism*), digunakan untuk mempercepat poses fermentasi kotoran sapi

#### C. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

##### 1. Persiapan

Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

##### 2. Pelaksanaan

- a. Masukkan bahan isian yang telah dicampur ke dalam tabung pencernaan (ternak segar dan air dengan perbandingan 1:2).
- b. Buka kran pengeluaran gas dan hubungkan dengan pipa pemasukan gas

tabung pengumpul dengan selang karet atau plastik yang telah disiapkan. Tutup kran pengeluaran gas tabung pengumpulnya.

- c. Jika sudah terbentuk gas cacat tekanannya dan tabung pengumpul ditimbang
- d. Mengaplikasikan gas yang dihasilkan untuk memasak

**3. Pengujian**

**a. Volume Gas yang Dihasilkan**

Volume gas dihitung dengan cara menghitung volume yang dapat dibentuk gas pada penyimpan sementara per hari dan diukur tekanannya. Selanjutnya dapat dihitung massa gas yang dihasilkan melalui persamaan berikut:

$$PV = mRT \dots\dots\dots (2)$$

Di mana:

- P = Tekanan gas pada penyimpan sementara, N/m<sup>2</sup>
- V = Volume penyimpan, m<sup>3</sup>
- m = Massa, kg
- T = Temperatur, K
- R = Konstanta gas, 518 Nm/kg.K

**b. Pengujian Aplikasi**

Gas bio yang dihasilkan diuji cobakan untuk memasak air dan nasi. Pada pengujian ini dilakukan penghitungan volume, massa gas dan waktu yang digunakan untuk memasak.

**D. Analisis Ekonomi**

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui nilai kesetaraan biogas yang dihasilkan dengan gas LPG.

**IV. HASIL PENELITIAN**

**A. Volume Gas dan Nilai Kalor**

1. Perhitungan Volume Gas

$$PV = m \cdot R \cdot T$$

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{P}$$

$$= \frac{0,96 \times 518 \times 301}{28,74}$$

$$= 52081 \text{ cm}^3 \text{ setara dengan } 0,33 \text{ kg LPG}$$

$$= 52 \text{ liter/hari}$$

$$= 2,17 \text{ liter/jam}$$

2. Penghitungan persentase gas metana dan nilai kalor bersih biogas

$$Q = k \times m$$

$$= 0,33 \times 60 \% \text{ metana}$$

$$= 19,8 \text{ Joule/cm}^3$$

**B. Pengujian Aplikasi**

Pengujian aplikasi gas bio sebagai bahan bakar untuk memasak dilakukan dengan menggunakan kompor gas yang telah dimodifikasi yaitu dengan menutup rongga pada bagian inlet kompor gas. Gas bio yang diproduksi digunakan untuk memasak air dan nasi.



Gambar 1. Aplikasi Biogas

Tabel 3. Hasil Uji Aplikasi

| No | Jenis Aplikasi                     | Tekanan Gas Mula-Mula (kg/cm <sup>2</sup> ) | Tekanan Gas Akhir (kg/cm <sup>2</sup> ) | Waktu yang Digunakan (menit) |
|----|------------------------------------|---|---|------------------------------|
| 1. | Memasak air dengan volume 2 liter  | 1,5   | 1,2                                     | 11,02                        |
| 2. | Memasak nasi dengan volume 1 liter | 1,4   | 0,9                                     | 20,20                        |

Sumber: Hasil pengujian alat

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa tekanan gas bio dan waktu yang digunakan untuk mendidihkan air dengan volume 2 liter adalah 0,3 kg/cm<sup>2</sup> dalam waktu 11 menit 2 detik. Sedangkan untuk memasak nasi 1 liter beras digunakan 0,5 kg/cm<sup>2</sup> dalam waktu 20 menit 20 detik.

Bila didekati dari kebutuhan air minum dan nasi sebagai makanan pokok keluarga peternak yang terdiri dari 4 orang, yaitu tiap orang membutuhkan 3 liter air maka dibutuhkan 12 liter air minum. Sedangkan untuk makan 2 kali sehari 2 kg cukup untuk 4 orang. Hal ini berarti dibutuhkan memasak air 6 kali dan memasak nasi 2 kali sehingga dibutuhkan waktu memasak dengan gas bio sekitar 107 menit atau mendekati 2 jam perhari.

Dengan demikian biogas yang dihasilkan belum dapat mencukupi kebutuhan air minum dan nasi sebagai makanan. Penggunaan teknologi biogas, apabila hendak diterapkan sebagai penghasil bahan bakar untuk memasak masih membutuhkan bahan bakar lain.

### C. Analisis Ekonomi

Biaya pokok (BP) dibutuhkan untuk memproduksi biogas adalah:

$$BP = \left( \frac{BT}{X} + BTT \right) \times C$$

$$= \left( \frac{Rp.220.000}{1440 \text{ jam}} + Rp. \frac{69}{\text{jam}} \right)$$

$$\times 2,17 \text{ liter/jam}$$

$$= Rp. 481,3/\text{liter}$$

Berdasarkan nilai di atas dapat diketahui bahwa biaya pokok yang harus dikeluarkan untuk menghasilkan biogas per liter nya adalah Rp. 481,3/liter. Jika dibandingkan dengan harga LPG per kilogram, maka digester ini memiliki biaya yang jauh berbeda dengan LPG di pasaran yaitu Rp. 5.000, per kilogram atau setara dengan Rp. 10,07/liter ( $\rho$  LPG = 2,02 kg/m<sup>3</sup>).

Dengan melihat harga produksi tersebut maka biodigester ini dari segi ekonomis memang masih lebih rendah dari LPG akan tetapi cukup menguntungkan karena dapat mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil yang ketersediaannya terbatas dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Selain itu bahan bakar gas bio bersih tidak menghasilkan asap sehingga dari jelaga.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai kalor bersih biogas yang dihasilkan dari biodigester skala rumah tangga sebesar 19,8 Joule/cm<sup>3</sup>, setara dengan 0,33 kg LPG dan masih jauh di bawah nilai kalor LPG, demikian pula dengan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan biogas.

## DAFTAR PUSTAKA

Amaru, Kharistya. 2004. *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil*. Bandung: Fakultas Pertanian Universitas Padjajaran Bandung.

Departemen Pertanian. 2009. *Pemanfaatan Limbah dan Kotoran Ternak Menjadi Energi Biogas*. Seri

- Bioenergi Pedesaan. Jakarta: Direktorat Jenderal Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian.
- Departemen Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2006. *Pokok-pokok Pikiran dan Permasalahan Pemanfaatan Biofuel*. Jakarta: Seminar Nasional Biofuel Implementasi Biofuel sebagai Energi Alternatif.
- Ditjen PPHP-DEPTAN. 2006. *Biogas Skala Rumah Tangga melalui Program Bio Energi Perdesaan (BEP)*. Jakarta: Departemen Pertanian.
- Hambali, E., S. Mujdalipah., A.H. Tambunan., A.W. Pattiri dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.
- Haryati, T. 2006. *Biogas, Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif*. Jurnal Wartazoa 6(3): 160 – 169.
- Lazuardy, Indra. 2008. *Rancang Bangun Alat Penghasil Biogas Model Terapung*. Medan: Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara.
- Meynell, P. J. 1976. *Methane : Planning a Digester*. Great Britain: Prism Press.
- Mulyani, A. dan I. Las. 2008. *Potensi Sumber Daya Lahan dan Optimalisasi Pengembangan Komoditas Penghasil Bioenergi di Indonesia*. Jurnal Litbang Pertanian 27 (1): 31 – 41.
- Setiawan, Ade Iwan. 2008. *Memfaatkan Kotoran Ternak Solusi Masalah Lingkungan dan Pemanfaatan Energi Alternatif*. PT. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Sunardi. 2011. *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Reaktor Biogas Skala Rumah Tangga dengan Bahan Baku Kotoran Sapi*. Makassar: FT UNM.
- Wahyuni, S. 2008. *Biogas*. PT. Penebar Swadaya. Jakarta
- Widodo, T.W., A. Nurhasanah., A. Asari dan A. Unadi. 2006. *Pemanfaatan Energi Biogas untuk Mendukung Agribisnis di Pedesaan*. (on line), (<http://www.mekanisasi.litbang.go.id> , diakses 10 Oktober 2010).