



REKAYASA DAN PENGUJIAN REAKTOR BIOGAS SKALA KELOMPOK TANI TERNAK

(Design and Development of Biogas Reactor for Farmer Group Scale)

Teguh Wikan Widodo, Ahmad Asari, Ana N., dan Elita R.

Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian

ABSTRAK

Teknologi biogas telah berkembang sejak lama namun aplikasi penggunaannya sebagai sumber energi alternatif belum berkembang secara luas. Beberapa kendala antara lain yaitu kekurangan *technical expertise*, reaktor biogas tidak berfungsi akibat bocor/ kesalahan konstruksi, disain tidak *user friendly*, penanganan masih secara manual dan biaya konstruksi yang mahal. Kegiatan ini bertujuan untuk mengembangkan reaktor biogas skala kelompok tani ternak. Reaktor didesain dengan kapasitas 18 m³ untuk menampung kotoran sapi sebanyak 10–12 ekor. Berdasarkan perhitungan disain, reaktor mampu menghasilkan biogas sebanyak 6 m³/ hari. Produksi gas metana dipengaruhi oleh C/N rasio input (kotoran ternak), residence time, pH, suhu dan *toxicity*. Suhu digester berkisar 25–27°C dan pH 7–7,8 menghasilkan biogas dengan kandungan gas metana (CH₄) sekitar 77%. Penggunaan lampu penerangan diperlukan biogas 0.23 m³/jam dengan tekanan 45 mmH₂O dan untuk kompor gas diperlukan biogas 0.30 m³/jam dengan tekanan 75 mmH₂O. Analisa dampak lingkungan dari lumpur keluaran dari reaktor biogas menunjukkan penurunan COD sebesar 90% dari kondisi bahan awal dan pebandingan BOD/COD sebesar 0,37 lebih kecil dari kondisi normal limbah cair BOD/COD=0,5. Analisa unsur utama N, P dan K menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pupuk kompos (referensi).

Kata Kunci: energi terbarukan, biomasa, kotoran sapi, reaktor biogas.

ABSTRACT

Biogas technology has been introduced and developed for long time in Indonesia, however application as alternative energy did not spread widely. There were several constrains such as lack of technical expertise, malfunction of the reactor, design is not user friendly, need manually handling and highly investment for construction. For that reason, there is strongly objective of this activity is to develop biogas reactor in a farmer group scale. Reactor was designed with holding capacity of cattle dung from 10–12 heads or about 18 m³ dung. Based on design calculation, digester was predicted to produce biogas up to 6 m³/ day. Production of methane gas depended on C/N ratio of input material, hydraulic residence time, pH, temperature and toxicity. Temperature of slurry inside digester was around 25–27°C and pH 7–7.8, reactor produced biogas that contain methane gas content about 77%. Utilization for mantle lamp required biogas 0.23 m³/hour with pressure 45 mmH₂O and gas stove required biogas 0.30 m³/hour with pressure 75 mmH₂O. Analysis of environmental impact of effluent indicated COD has decreased about 90% comparing to fresh dung condition. Moreover, BOD/COD ratio was 0.37, it was less than normal waste water (BOD/COD=0.5). Analysis of effluent components (N, P and K contents), exhibited that there no difference to compos (reference).

Keywords: renewable energy, biomass, cattle dung, biogas reactor

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang sangat cepat, dengan ekspansi bidang industri menyebabkan peningkatan permintaan energi dan penurunan kualitas lingkungan. Meskipun Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak dan gas, namun berkurangnya cadangan minyak, pencabutan subsidi

menyebabkan harga minyak naik dan turunnya kualitas lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang erbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan. Salah satu dari energi terbarukan adalah biogas, biogas memiliki peluang yang besar dalam pengembangannya. Energi biogas dapat diperoleh dari air buangan rumah tangga;



kotoran cair dari peternakan ayam, sapi, babi; sampah organik dari pasar; industri makanan dan sebagainya. Kapasitas terpasang pemanfaatan biogas adalah kurang dari satu persen dari potensi biogas yang ada (685 MW). Dari ternak ruminansia besar saja (sapi perah, sapi potong dan kerbau) dengan populasi 13 680.000 ekor (pada tahun 2004) dan struktur populasi populasi (anak, muda, dewasa) kotoran segar rata-rata 12 kg/ekor/hari, dapat menghasilkan kotoran segar 164 160 000 ton per hari atau setara dengan 8,2 juta liter minyak tanah/ hari (Syamsuddin dan Iskandar, 2005).

Penggunaan sistem reaktor biogas memiliki keuntungan, antara lain yaitu mengurangi efek gas rumah kaca, mengurangi bau yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, panas, daya (mekanis/listrik) dan hasil samping berupa pupuk padat dan cair. Pemanfaatan limbah dengan cara seperti ini secara ekonomi akan sangat kompetitif seiring naiknya harga bahan bakar minyak dan pupuk anorganik. Disamping itu, cara-cara ini merupakan praktek pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Marchaim, 1992; Anonim², 1984).

Teknologi biogas bukanlah merupakan teknologi baru di Indonesia, sekitar tahun 1980-an sudah mulai diperkenalkan. Namun sampai saat ini belum mengalami perkembangan yang menggembirakan. Beberapa kendala antara lain yaitu kekurangan technical expertise, reaktor biogas tidak berfungsi akibat bocor/ kesalahan konstruksi, disain tidak user friendly, membutuhkan penanganan secara manual (pengumpanan/ mengeluarkan lumpur dari reaktor) dan biaya konstruksi yang mahal. Oleh karena itu, diperlukan pengkajian yang lebih mendalam secara teknis dan ekonomis serta cara-cara pendekatan baru dalam pengembangannya (Widodo dan Nurhasanah, 2004; Widodo, et al., 2006). Tujuan kegiatan rekayasa dan pengembangan ini adalah untuk melakukan merekayasa dan menguji reaktor biogas skala kelompok tani ternak serta analisa teknis dan ekonomisnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Konstruksi reaktor terdiri dari semen, batu sungai, bata merah, pasir dan bahan pelapis kedap air. Kekuatan konstruksi sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan, teknik dan

kecermatan pengerjaan masing-masing tahapan pekerjaan. Tahapan pekerjaan konstruksi meliputi pembuatan fondasi, pemasangan dinding dan pelapisan. Pelapisan dilakukan secara berulang-ulang dengan adukan semen yang dicampur dengan bahan kedap air. Sedangkan manometer dibuat dari pipa plastik transparan dengan diameter 1 cm dan diisi dengan air berwarna. Pada salah satu ujung pipa dihubungkan dengan botol yang berfungsi sebagai pengaman. Perbedaan tinggi permukaan air dari posisi semula (sejajar) menunjukkan besarnya tekanan.

Metode

Reaktor biogas dapat diklasifikasikan berdasarkan susunan konstruksi penampung gas, yaitu: (a) kombinasi reaktor/penampung gas: *fixed dome* dan *flexible bag*, (b) penampung gas terapung: tanpa sekat air dan dengan sekat air, dan (c) penampung gas terpisah (Anonim¹, 1980). Dalam rekayasa dan pengembangan reaktor biogas ini, tipe reaktor yang dikembangkan berdasarkan hasil identifikasi dengan mempertimbangkan berbagai faktor teknis, ekonomis, kemudahan operasional dan keamanan kerja.

Parameter Disain dan Kapasitas Reaktor Biogas

Dalam perancangan disain unit instalasi pemroses biomasa faktor penting yang harus diacu adalah : (a) jumlah sapi akan berpengaruh pada kuantitas kotoran ternak, urine dan jumlah air pembersih, (b) pengisian reaktor dipengaruhi oleh volume reaktor dan jumlah kotoran sapi yang akan digunakan, (c) lamanya bahan berada di dalam reaktor (*Hydraulic Retention Time*), (d) perkiraan tekanan gas metana yang dihasilkan dan (e) perkiraan produksi volume gas metana.

Sedangkan perencanaan pembuatan unit instalasi pemroses energi biomasa dari kotoran sapi harus memperhatikan empat faktor, yaitu : (a) ketersediaan dan kemudahan jenis bahan konstruksi yang dapat dipakai untuk membuat unit penghasil biogas, (b) ketersediaan jenis bahan organik buangan sebagai bahan isian, (c) jumlah kebutuhan dasar akan energi dari suatu keluarga atau kelompok masyarakat dan jenis keperluannya, (d) pemanfaatan bahan keluaran yang berupa lumpur untuk pupuk tanaman ataupun algae pada kolam ikan.



Perhitungan Desain Reaktor Biogas

Pengujian Reaktor Biogas

Identifikasi Masalah

Parameter disain yang diperlukan dalam perancangan reaktor biogas diperoleh dari penelusuran data dan informasi (studi pustaka), konsultasi ke beberapa perguruan tinggi, lembaga penelitian, instansi terkait guna mendapatkan data dan informasi yang berkaitan dengan masalah teknis pemanfaatan energi biogas dari kotoran sapi. Parameter tersebut meliputi :

- 1) Penentuan Tipe Reaktor Biogas
- 2) Parameter disain dan kapasitas reaktor biogas

Kegiatan Perencanaan

Perhitungan disain reaktor biogas

Volume reaktor biogas dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4) dan data : (a) kapasitas produksi gas metana tertinggi gas metana/ kg *volatile solid* yang ditambahkan (b) konsentrasi *volatile solid* didalam input material dan (c) *Hydraulic Retention Time*. Sedangkan penampung lumpur keluaran dari reaktor dihitung dengan menggunakan persamaan (5). Berdasarkan hasil perhitungan ini, maka disain reaktor biogas dapat digambar.

Uji Unjuk Kerja

Aspek teknis hasil kinerja reaktor biogas

Uji unjuk kerja dilakukan melalui beberapa tahapan kegiatan:

- (a) Prosedur pengisian reaktor. Hasil pengujian karakteristik fisik dan kimia bahan digunakan untuk mengetahui kebutuhan air yang digunakan dalam mencampur bahan, serta apabila diperlukan, dilakukan pencampuran kotoran ternak dengan bahan lain agar kadar C/N sesuai dengan kondisi yang diperlukan untuk proses pencernaan (kadar C/N = 25:1).
- (b) Pengisian reaktor. Reaktor diisi dengan campuran kotoran ternak dengan air dengan perbandingan padatan/air 1:1. Pengisian dilakukan sampai reaktor penuh dan dibiarkan sampai sampai gas yang dihasilkan stabil, setelah itu pengisian dilakukan setiap hari.

Dalam uji unjuk kerja dipergunakan beberapa alat ukur antara lain yaitu: manometer air untuk mengukur tekanan gas, gas flowmeter, pH meter dan thermometer air raksa.

Aspek Ekonomis Hasil Kinerja Reaktor Biogas

Analisa kelayakan ekonomi meliputi Net Present Worth (NPW), Net Present Cost (NPC), Net Present Revenue (NPR), B/C Ratio, Simple Payback dan Internal Rate Return (IRR).

Analisa Laboratorium

Analisa laboratorium meliputi (a) kondisi bahan (kotoran sapi): total solids, volatile solids dan kadar C/N ratio, COD (Chemical Oxygen Demand) dan BOD (Biological Oxygen Demand; (b) Kandungan kimia biogas (CH₄, CO₂, H₂S dan NH₃); (c) Kondisi lumpur keluaran dari reaktor (effluent): COD, BOD dan kandungan unsur hara utama (Nitrogen, Pospor dan Kalium).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Identifikasi Masalah

Penentuan Tipe Reaktor Biogas

Pengembangan teknologi biogas selama ini memiliki banyak kendala, antara lain yaitu: kekurangan *technical expertise*, reaktor biogas tidak berfungsi akibat bocor/ kesalahan konstruksi, disain tidak *user friendly*, membutuhkan penanganan secara manual (pengumpanan/ mengeluarkan lumpur dari reaktor) dan biaya konstruksi yang mahal. Untuk itu, diperlukan pertimbangan-pertimbangan teknis dan ekonomis dalam menentukan tipe reaktor yang akan dikembangkan. Hasil identifikasi masalah dengan cara studi literatur, konsultasi teknis dan kunjungan lapang diperoleh kesimpulan bahwa reaktor biogas *tipe fixed dome (China Type)* dipilih untuk dapat dikembangkan. Beberapa alasannya adalah: (a) umur ekonomis dapat mencapai 20-25 tahun, (b) terbuat dari bahan-bahan lokal, (c) konstruksi berupa *dome* sehingga mampu menahan beban baik di dalam maupun di atas permukaan tanah, (d) konstruksi terdapat dibawah permukaan tanah sehingga kestabilan suhu bahan didalam reaktor biogas dapat terjamin, (e) penghematan penggunaan lahan, (f) operasional alat mudah dilakukan, (g) perawatan relatif mudah dan murah (Anonim³, 1989; Jan Lam, 2005; Marchaim, 1992; Anonim¹, 1980; Anonim², 1984).



Parameter Disain dan Kapasitas Reaktor Biogas

Peternak sapi skala kecil di Indonesia rata-rata memiliki 2-5 ekor yang tersebar dalam wilayah yang luas. Secara ekonomis, jumlah pemilikan sapi baru menguntungkan peternak bila mencapai 10-12 ekor. Selain hal tersebut, program sentralisasi kandang juga sedang digalakkan pemerintah di beberapa daerah untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Dengan pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka kapasitas reaktor yang dikembangkan adalah mampu menampung kotoran sapi 10-12 ekor dan dapat menghasilkan biogas untuk memenuhi kebutuhan energi 5 keluarga (memasak dan penerangan) (Anonim⁵, 2003; Anonim⁶, 2003).

Ukuran reaktor dirancang dengan cara memaksimalkan produksi gas per unit volume reaktor agar biaya konstruksi dapat diminimalisir. Hal ini berkaitan dengan pencernaan secara anaerob yang tergantung pada aktivitas biologis dari bakteri methanogen yang berkembang lambat, maka ukuran reaktor harus memenuhi kinerja yang diharapkan dan cukup besar ukurannya untuk menghindari terucinya bakteri tersebut keluar dari reaktor (washed out). Pada daerah tropis yang pada umumnya suhu didalam reaktor sekitar 25-30°C, *retention time* berkisar antara 40 – 50 hari (Gunnerson and Stuckey, 1986; Anonim¹, 1980; Anonim², 1984).

Dari hasil identifikasi masalah didapatkan parameter - parameter sebagai berikut :

- Produksi kotoran segar per ekor sapi/hari : 15 - 25 kg.
- 1 kg total solid (TS) menghasilkan biogas : 250 liter.
- Berat total solid (TS) : 0.18 berat kotoran basah.
- Nilai kalor gas bio : 5.6 - 7.2 kwh/m³
- pH optimal untuk produksi gas methan : 7.0 - 7.2
- Suhu pencernaan optimal : 35°C

Penentuan Lokasi

Berdasarkan hasil identifikasi masalah, telah ditetapkan Pondok Pesantren Darul Fallah sebagai lokasi pembangunan unit instalasi pemroses biomasa (kotoran sapi) menjadi biogas. Peternakan sapi perah dengan jumlah sapi 23-40 ekor tersebut merupakan unit usaha koperasi yang bernaung di bawah Pondok Pesantren Pertanian Darul Fallah. Dasar pertimbangan dalam pemilihan lokasi diantaranya adalah memiliki kelembagaan yang mantap, SDM yang memadai, lahan cukup luas,

melakukan usaha peternakan secara terintegrasi, seperti memproses kompos untuk pupuk, memiliki lahan untuk ditanami rumput dan hijauan pakan ternak, kegiatan pertanian lain seperti pembibitan dan sebagai tempat praktik belajar bagi mahasiswa Pondok Pesantren Pertanian Darul Fallah, IPB, maupun perguruan tinggi lainnya di Bogor dan sekitarnya. Sehingga diharapkan pembangunan instalasi pemroses biomasa (kotoran sapi) menjadi biogas tersebut dapat menjadi *show window* pengembangan teknologi biogas di Indonesia.

Faktor-faktor lain yang dipertimbangkan adalah kesediaan untuk mengelola secara kontinyu, memiliki sapi dalam jumlah yang cukup, dan lokasinya tidak terlalu jauh dari Balai Besar sehingga bisa dilakukan supervisi dan pengendalian operasional secara mudah.

Penandatanganan naskah kerjasama (MOU) antara Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian dengan Pondok Pesantren Pertanian Darul Fallah, Ciampea, Bogor dilaksanakan pada tanggal 4 Oktober 2005.

Kegiatan Perencanaan

Perhitungan Disain Reaktor Biogas

Reaktor biogas didisain dengan menggunakan Persamaan (1), (2), (3), (4) dan (5). Kapasitas volumetrik produksi gas metana (spesifik yield) dihitung dengan persamaan berikut (Gunnerson and Stuckey, 1986) :

$$V_s = \frac{Bo \times So}{HRT} \cdot \left[1 - \frac{K}{(HRT \times \mu_m - 1 + K)} \right] \dots (1)$$

$$K = 0,8 + 0,0016 \cdot e^{0,06 \cdot So} \dots (2)$$

$$\mu_m = 0,013 (T) - 0,129 \dots (3)$$

Vs : Specific yield (kapasitas volumetrik produksi gas metana, m³/hari/m³ reaktor)

Bo : Kapasitas produksi gas metana tertinggi, dalam m³ gas metana/ kg *volatile solid* yang ditambahkan.

So : Konsentrasi *volatile solid* didalam input material, kg/ m³

HRT : *Hydraulic Retention Time*, hari

K : Koefisien kinetik, tidak berdimensi

μ_m : Laju pertumbuhan spesifik maksimum dari mikroorganisme, per hari.



Volume reaktor :

$$V_{reaktor} = \frac{\pi}{2R^3} + \frac{\pi}{3R^2t} \dots\dots\dots(4)$$

Volume penampung lumpur keluaran dari reaktor, V_{pl} :

$$V_{pl} = \frac{\pi}{2R^3} \dots\dots\dots(5)$$

R : Jari - jari kubah reaktor
T : Tinggi kerucut bagian lantai reaktor

$B_o = 0.2 \text{ m}^3$ gas metana/ kg *volatile solid* yang ditambahkan, $S_o = 100 \text{ kg/ m}^3$,
HRT (*Hydraulic Retention Time*) = 45 hari.

Dengan mengetahui kapasitas volumetrik produksi gas metana (V_s) dan volume reaktor maka kuantitas biogas yang dihasilkan dapat diketahui.

Disain dan Konstruksi

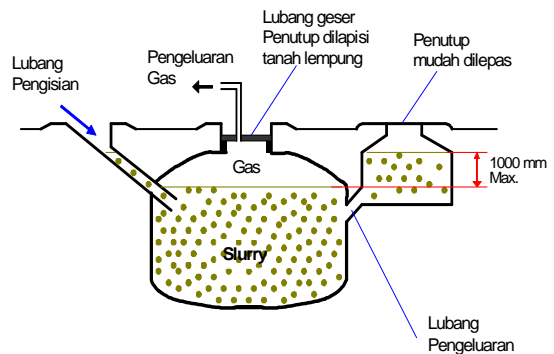
Konstruksi instalasi reaktor biogas tipe *fixed dome (chinese type)* terdiri dari 3 bagian, yaitu (a) unit pencampur, (b) bagian utama reaktor, dan (c) bagian pengeluaran lumpur (Gambar 1). Fungsi masing-masing bagian adalah sebagai berikut:

- (a) Unit pencampur berfungsi untuk menampung kotoran sapi yang terkumpul dari kandang dan mencampur dengan air dengan perbandingan padatan/air 1:1 . Campuran yang menyerupai bubur ini kemudian dimasukkan kedalam digester utama.
- (b) Bagian utama reaktor merupakan tempat dimana kotoran mengalami proses fermentasi secara anaerob sehingga dapat menghasilkan biogas. Bagian atas reaktor berbentuk kubah (*dome*) dengan garis tengah 4,2 meter, sedangkan pada bagian dasarnya berbentuk kerucut dengan panjang garis miring sebesar 2,1 meter, dan tinggi kerucut 0.75 meter. Perhitungan dengan persamaan (2.4) diperoleh volume reaktor 18 m^3 . Reaktor ini dirancang untuk dapat menampung kotoran dari 10 ekor sapi (dengan kotoran sapi 20 kg/hari/ekor dengan *retention time* 45 hari). Perkiraan produksi biogas yaitu 6 m^3 / hari (untuk rata-rata produksi biogas 30 liter gas/kg kotoran sapi). Bagian utama reaktor dilengkapi dengan lubang pemeliharaan (*manhole*) yang ditutup dengan lempengan beton bertulang,

lapisan tanah liat dan diisi air. Fungsi lain bagian ini adalah sebagai pengaman apabila terdapat tekanan yang terlalu besar dari biogas yang terbentuk sehingga tidak merusak konstruksi reaktor.

- (c) Bagian pengeluaran lumpur berfungsi untuk menampung sementara lumpur yang keluar dari reaktor utama setelah mengalami proses fermentasi secara anaerob. Bagian ini juga berbentuk kubah (*dome*) dengan volume 5 m^3 (garis tengah 3 meter).

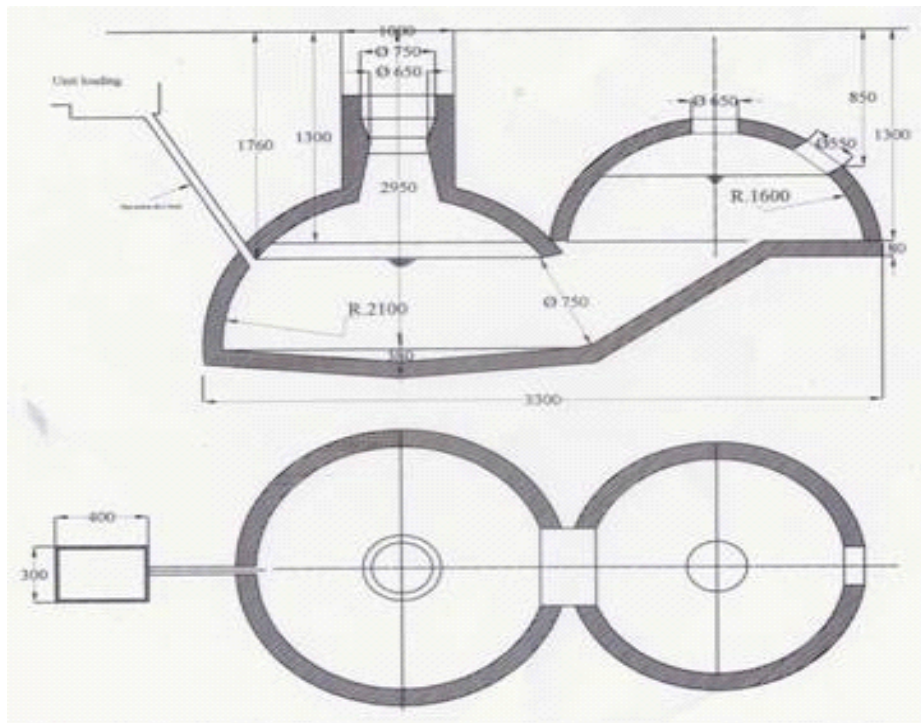
Kekuatan konstruksi reaktor sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan (semen, bata merah, pasir dan bahan pelapis kedap air) dan kecermatan pengerjaan masing-masing tahapan pekerjaan konstruksi. Gambar disain dan tahapan pekerjaan konstruksi seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. Reaktor biogas tipe *fixed dome*



Gambar 2. Disain reaktor biogas tipe *fixed dome*



Gambar 3. Tahap - tahap pekerjaan pembuatan reaktor biogas



Manometer Pengukur Tekanan Biogas

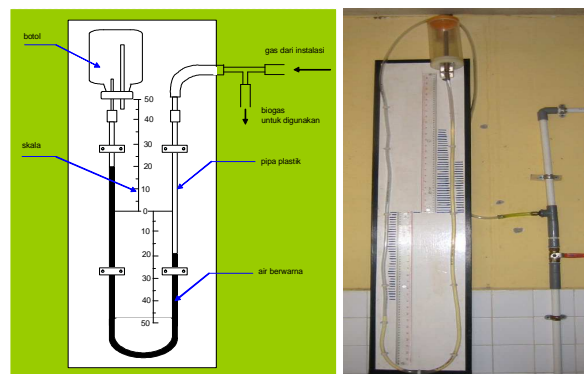
Untuk mengukur tekanan pada instalasi biogas dipergunakan manometer air yang dilengkapi klep pengaman seperti pada (Gambar 4).

Uji Unjuk Kerja

Aspek Teknis Hasil Kinerja Reaktor Biogas

Dalam kegiatan DIPA 2005 BBP Mekanisasi Pertanian, telah dilaksanakan rekayasa dan pengembangan reaktor biogas yang berlokasi di Pondok Pesantren Pertanian Darul Fallah, Ciampea, Bogor. Reaktor biogas tipe *fixed dome* dirancang untuk 10 ekor sapi (dengan kotoran sapi 20 kg/hari/ekor dan *retention time* 45 hari) maka kapasitas reaktor adalah 18 m³ (Widodo and Hendriadi, 2005).

Produksi gas metana tergantung pada C/N rasio dari input (kotoran ternak), *hydraulic residence time*, pH, suhu dan *toxicity*. Hasil pengukuran suhu bahan di dalam reaktor berkisar 25 – 27°C dan pH berkisar antara 7 – 7,8 berdasarkan teori, kondisi ini baik bagi aktivitas mikroorganisme penghasil gas metana. Hal ini didukung dengan fakta hasil analisa kandungan gas metana (CH₄) yaitu sekitar 77% (lebih besar dari data referensi). Berdasarkan perhitungan produksi biogas yaitu 6 m³/ hari (untuk rata-rata produksi biogas 30 liter gas/ kg kotoran sapi), sedangkan hasil pengukuran tanpa beban menunjukkan laju aliran gas 1,5 m³/jam dengan tekanan 490 mmH₂O. Biogas yang dihasilkan dari reaktor biogas dimanfaatkan untuk kompor gas dan lampu penerangan (Tabel 1) dan Gambar 5.



Catatan : 1 kg/cm² = 10 000 mmH₂O = 0.9678 atm

Gambar 4. Kombinasi manometer dan klep pengaman



Gambar 5. Penggunaan biogas untuk penerangan dan kompor gas



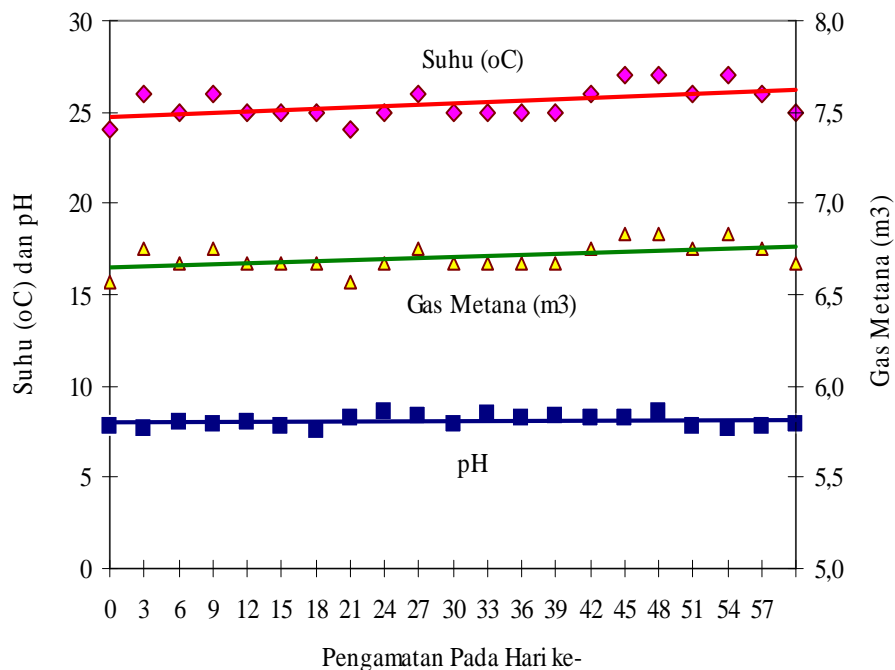
Dengan menggunakan data pengukuran suhu bahan di dalam reaktor biogas dan menggunakan persamaan (1) dan (2), maka produksi gas metana dapat diperhitungkan seperti pada Gambar 6. Pengamatan dengan interval 3 hari selama 2 bulan diperoleh data pH bahan pada kisaran 7 – 7,8 dan suhu sekitar 25°C kondisi ini baik bagi bakteri methanogen untuk tumbuh dan menghasilkan gas metana.

Aspek Ekonomis Kinerja Reaktor Biogas

Reaktor biogas dibuat dengan investasi Rp 18 448 000,- yang terdiri atas biaya untuk bahan dan pembuatan konstruksi. Pendapatan yang diperoleh dari instalasi biogas adalah sekitar Rp 600 000,-/ bulan bila dikonversikan dengan harga dan nilai kalori LPG. Dengan menggunakan parameter dan analisa kelayakan ekonomi seperti pada Tabel 2 diperoleh B/C Rasio 1,35 yang berarti secara ekonomi investasi tersebut layak. Demikian pula dari hasil analisa *simple payback* diketahui bahwa modal investasi pembangunan konstruksi reaktor akan kembali pada tahun ke-4 (umur ekonomi

digester: 20 tahun). Hasil pendapatan ini belum termasuk hasil samping berupa pupuk cair/padat. Penggunaan lain dari lumpur keluaran dari reaktor adalah diumpungkan ke kolam ikan. Penggunaan lumpur keluaran dari reaktor ke kolam dapat merangsang pertumbuhan *phytoplankton* (algae) dan *zooplankton* (daphia and crustaceans) yang merupakan sumber makanan bagi ikan (Gunnerson and Stuckey,1986; Marchaim,1992; Anonim¹,1980; Anonim²,1984).

Faktor sosial dan faktor lingkungan sampai sekarang ini belum diperhitungkan secara ekonomi, padahal dampak teknologi biogas sudah terbukti manfaatnya di masyarakat. Untuk mendorong kegiatan pertanian yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan, dalam aktivitas kegiatan pertanian perlu dipertimbangkan pemberian penghargaan kepada pelaku yang memperhatikan lingkungan berupa potongan pajak dan sanksi bagi yang mengabaikan pencemaran lingkungan (Anonim², 1984; Widodo and Tokumoto, 2005).



Gambar 6. Grafik pengaruh suhu dan pH terhadap produksi gas metana



Tabel 1. Unjuk kerja instalasi biogas

| Uraian | Referensi | Hasil Uji dan Analisa |
|--|--|--|
| 1. Kondisi bahan (kotoran sapi) | | |
| - Total Solid, kg/ ekor/ hari | 4,8 | 4,2 |
| - Volatile Solid, kg/ ekor/ hari | 3,9 | 3,8 |
| - Kadar air, % | 7 – 9 | 13,59 |
| - C/N rasio | 1: 25 ~ 1 : 30 | 1 : 17 |
| - COD, mg/l | - | 19 800 |
| - BOD / COD | - | 0,06 |
| 2. Kondisi dalam reaktor (proses) | | |
| - Suhu, °C | 35 | 25 – 27 |
| - pH | 7,0 – 8,0 | 7 – 8,6 |
| 3. Kandungan Kimia Biogas | | |
| - CH ₄ , % | 50 – 60 | 77,13 |
| - CO ₂ , % | 30 – 40 | 20,88 |
| - H ₂ S, µg / m ³ | < 1% | 1544,46 |
| - NH ₃ , µg / m ³ | - | 40,12 |
| 4. Kondisi lumpur keluaran dari reaktor (effluent) | | |
| - COD | 500 – 2500 | 1 960 |
| - BOD / COD | 0,5 | 0,37 |
| - Kandungan unsur hara (utama), % | | |
| ▪ Nitrogen | 1,45 | 1,82 |
| ▪ Pospor | 1,10 | 0,73 |
| ▪ Kalium | 1,10 | 0,41 |
| 5. Unjuk Kerja | | |
| - Lampu penerangan, m ³ / jam | 0,11 – 0,15 (penerangan setara dengan 60 watt lampu bohlam ≅ 100 candle power ≅ 620 lumen). Tekanan: 70 – 85 mmH ₂ O | 0,15 – 0,3 Tekanan = 30 – 60 mmH ₂ O |
| - Kompor gas, m ³ / jam | 0,2 – 0,45 0,3 m ³ / orang / hari Tekanan: 75 – 90 mmH ₂ O | 0,2 – 0,4 Tekanan = 60 – 85 mmH ₂ O |

Source : (Anonim¹, 1980; Anonim², 1984; Gunnerson and Stuckey, 1986; Marchaim, 1992; Anonim⁴, 1997; Schmidt, 2005).



Aspek Ekonomis Kinerja Reaktor Biogas

Reaktor biogas dibuat dengan investasi Rp 18 448 000,- yang terdiri atas biaya untuk bahan dan pembuatan konstruksi. Pendapatan yang diperoleh dari instalasi biogas adalah sekitar Rp 600 000,-/ bulan bila dikonversikan dengan harga dan nilai kalori LPG. Dengan menggunakan parameter dan analisa kelayakan ekonomi seperti pada Tabel 2 diperoleh B/C Rasio 1,35 yang berarti secara ekonomi investasi tersebut layak. Demikian pula dari hasil analisa *simple payback* diketahui bahwa modal investasi pembangunan konstruksi reaktor akan kembali pada tahun ke-4 (umur ekonomi digester: 20 tahun). Hasil pendapatan ini belum termasuk hasil samping berupa pupuk cair/padat. Penggunaan lain dari lumpur keluaran dari reaktor adalah diumpankan ke kolam ikan. Penggunaan lumpur keluaran dari reaktor ke kolam dapat merangsang

pertumbuhan *phytoplankton* (algae) dan *zooplankton* (daphia and crustaceans) yang merupakan sumber makanan bagi ikan (Gunnerson and Stuckey,1986; Marchaim,1992; Anonim¹,1980; Anonim²,1984).

Faktor sosial dan faktor lingkungan sampai sekarang ini belum diperhitungkan secara ekonomi, padahal dampak teknologi biogas sudah terbukti manfaatnya di masyarakat. Untuk mendorong kegiatan pertanian yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan, dalam aktivitas kegiatan pertanian perlu dipertimbangkan pemberian penghargaan kepada pelaku yang memperhatikan lingkungan berupa potongan pajak dan sanksi bagi yang mengabaikan pencemaran lingkungan (Anonim², 1984; Widodo and Tokumoto, 2005). Berdasarkan kajian teknis dan ekonomis tersebut, teknologi biogas ini layak dikembangkan.

Tabel 2. Parameter dan hasil analisa kelayakan ekonomi

| No | Uraian | Biaya |
|----|---|------------|
| 1. | Parameter | |
| - | Biaya investasi, Rp | 18 448 000 |
| - | Biaya operasional dan perawatan, Rp/tahun | 2 767 200 |
| - | Pendapatan, Rp/tahun | 7 051 800 |
| - | Keuntungan, Rp/tahun | 4 284 600 |
| - | Umur ekonomi, tahun | 20 |
| - | Produksi gas, m ³ /hari | 6 |
| - | Produksi gas, m ³ /tahun | 2190 |
| - | Suku Bunga, %/tahun | 12 |
| 2. | Hasil Analisa Kelayakan Ekonomi | |
| - | Net Present Worth (NPW), Rp | 13 555 578 |
| - | Net Present Cost (NPC), Rp | 39 117 444 |
| - | Net Present Revenue (NPR), Rp | 52 673 023 |
| - | B/C Ratio | 1,35 |
| - | Simple Payback, tahun | 4,3 |
| - | Internal Rate Return (IRR), % | 23,70 |

KESIMPULAN

Kegiatan rekayasa dan pengembangan reaktor biogas untuk memproses biomasa (kotoran sapi) menjadi energi biogas di Pesantren Darul Fallah Bogor dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembangunan unit instalasi pemroses biomasa berupa reaktor biogas tipe *fixed dome* dengan kapasitas 18 m³ dengan produksi biogas 6 m³/hari dan fasilitas pendukung seperti unit instalasi penyedia air.



2. Produksi gas metana tergantung pada C/N rasio input (kotoran ternak), residence time, pH, suhu dan *toxicity*. Suhu bahan di dalam reaktor berkisar 25-27°C dan pH 7 – 7,8 menghasilkan biogas dengan kandungan gas metana (CH₄) sekitar 77%. Penggunaan lampu penerangan diperlukan biogas 0.23 m³/jam dengan tekanan 45 mmH₂O dan untuk kompor gas diperlukan biogas 0.30 m³/jam dengan tekanan 75 mmH₂O.
 4. Analisa dampak lingkungan dari lumpur keluaran dari reaktor biogas menunjukkan penurunan COD sebesar 90% dari kondisi bahan awal dan pebandingan BOD/COD sebesar 0,37 lebih kecil dari kondisi normal limbah cair BOD/COD=0,5. Analisa unsur utama N, P dan K menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pupuk kompos (referensi).
 5. Pendapatan yang diperoleh dari instalasi biogas adalah sekitar Rp 600 000,-/ bulan. Analisa kelayakan ekonomi menunjukkan investasi layak dengan B/C Rasio 1,35 dan modal kembali pada tahun ke-4 (umur ekonomi digester 20 tahun). Hasil pendapatan ini belum termasuk hasil samping berupa pupuk cair/padat.
- Anonim⁶. 2003. *Perlu 500 ha, Terkendala Harga. Siswono Tertarik Buka Peternakan di Kaltim*. KaltimPos:Jumat, 26 September 2003. <http://www.kaltimpost.web.id/berita/>
- Gunnerson, C.G. and Stuckey, D.C. 1986. *Anaerobic Digestion: Principles and Practices for Biogas System*. The World bank Washington, D.C., USA.
- Jan Lam. 2005. *Evaluation Study for Biogas Plant Designs*. Final Report of SNV(Netherlands Development Organization) Cambodia.
- Marchaim, U. 1992. *Biogas Processes for Sustainable Development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
- Schmidt, A. 2005. *Treatment of Sludge from Domestic on Site Sanitation Systems Septic Tanks and Latrines*. Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable Development. Beijing, October 17-20,2005. pp. 199-207.
- Syamsuddin, T.R. dan Iskandar,H.H. 2005. *Bahan Bakar Alternatif Asal Ternak*. Sinar Tani, Edisi 21-27 Desember 2005. No. 3129 Tahun XXXVI.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim¹. 1980. *Guidebook on Biogas Development*. Energy Resources Development Series No. 21. United Nations: Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Bangkok. Thailand.
- Anonim². 1984. *Updated Guidebook on Biogas Development - Energy Resources Development Series 1984*, No. 27, United Nations, New York, USA.
- Anonim³. 1989. *The Biogas Technology in China*. Chengdu Biogas Research Institute, Chengdu, China.
- Anonim⁴. 1997. *Biogas Utilization*. GTZ. <http://ww5.gtz.de/gate/techinfo/biogas/app/idev/operation/utilizat.html>.
- Anonim⁵. 2003. *Laporan Tahunan Dinas Peternakan Provinsi Jawa Barat*. Dinas Peternakan Provinsi Jawa Barat.
- Widodo, T.W. and Nurhasanah, A. 2004. *Kajian Teknis Teknologi Biogas dan Potensi Pengembangannya di Indonesia*. Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian. Bogor, 5 Agustus 2004.
- Widodo, T.W. and TOKUMOTO, O. 2005. *Suggestion on Utilization of Feces at Large Scale Cattle Farm and Improvement of Environment*. Joint Workshop ICAERD-IPB-Japan on Biomass Energy Resource for Sustainable Agricultural Development and Environment Improvement. Jakarta March 1st, 2005.
- Widodo, T. W. and Hendriadi, A. 2005. *Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia*. Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable



Development. Beijing, October 17-20,2005. pp. 255-261.

Widodo,T.W., Asari, A., Nurhasanah, A. and Rahmarestia, E. 2006. *Biogas Technology Development for Small Scale Cattle Farm Level in Indonesia*. International Seminar on Development in Biofuel Production and Biomass Technology. Jakarta, February 21-22, 2006 (Non-Presentation Paper).