

APLIKASI FLEXIBLE TANK DARI KARET SEBAGAI PENAMPUNG BIOGAS PORTABLE

(Application of Flexible Tank from Rubber as Portable Storage of Biogas)

Armansyah H. Tambunan¹⁾, Salundik²⁾, Mohamad Solahudin¹⁾

¹⁾Dep. Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

²⁾Dep. Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan IPB

ABSTRAK

Dua alasan utama untuk menyimpan biogas ataupun bio-methan adalah: 1) penyimpanan untuk penggunaan di tempat yang sama pada waktu berbeda, dan 2) penyimpanan sebelum/setelah didistribusikan ke tempat berbeda dari tempat produksi biogas tersebut. Tangki fleksibel dari karet diharapkan dapat memberi keuntungan, dibanding tangki plastik. Akan tetapi, masalah yang dihadapi adalah cara pengisian biogas ke tangki penampungan karena tekanan di bio-digester lebih rendah dari tekanan dalam tangki penampungan. Hal ini dapat diatasi dengan perancangan pompa pengisian yang sesuai dengan sifat fisik dan termodinamik biogas.

Pada penelitian ini telah dilakukan kajian termodinamika terhadap sampel biogas yang diperoleh dari instalasi digester yang ada di sekitar Bogor, dan perancangan pompa pengisian berdasarkan hasil kajian tersebut. Kajian termodinamika terhadap sampel biogas menunjukkan bahwa pengempaan biogas ke tekanan 0,5 MPa tidak menyebabkan terjadinya perubahan status gas. Rancangan pompa pada prinsipnya merupakan modifikasi pompa udara yang biasa digunakan untuk pengisian udara ban kendaraan. Kemampuan tekan pompa dapat mencapai 5 atmosfer (0,5 MPa) sehingga diharapkan dapat mengatasi tekanan balik dari tangki karet yang akan digunakan sebagai tempat penyimpanan biogas. Energi yang diperlukan untuk melakukan pemompaan dapat dipenuhi dengan tenaga manusia. Penambahan biaya akibat aplikasi *Flexible Tank* akan menambah biaya operasional tahunan sebanyak Rp. 213.309/ tahun. Biaya tersebut akan meningkatkan harga per unit output biogas menjadi Rp. 0,824/ kkal. Peningkatan biaya energi ini masih relatif kecil dibandingkan dengan biaya energi minyak tanah.

Kata kunci: Tangki fleksibel, properti termodinamika, metan, karbondioksida, teknologi ekonomi.

ABSTRACT

Biogas is required to be stored due to two main reasons: 1) the biogas has to be used at the same place where it is produced but at different time from the production time, 2) the biogas has to be distributed to other places than the production place. Flexible tank made of rubber is expected as an advantageous storage option for biogas, compared to plastic tank. However, the charging process of the gas from digester to the storage needs external energy since the tank pressure is higher than the digester. This problem can be overcome by a suitable design of pumping system based on thermophysical and thermodynamic properties of the gas.

In this research, thermodynamic study on biogas sample obtained from digester owned by small husbandry in Bogor has been performed, and preliminary design of the pumping system based on the study has been done. The study showed that compression of the gas up to 0.5 MPa exerted no changes to the gas state. The design of the pump is basically a modification of air pump normally used for inflating tires, and capable in producing the required pressure to overcome the back pressure induced from the tank charging process. The tank application would increase annual operation cost of the installation system as

much as Rp. 213 309,-. Additional operation cost increases the gas price to Rp. 0.824 per kcal. However, this price is still lower than the price of kerosene.

Keywords: Flexible tank, thermodynamic properties, methane, carbondyoxide, techno-economic.

PENDAHULUAN

Teknologi biogas, sebagai energi alternatif yang bersifat terbarukan, telah banyak diterapkan di masyarakat. Akan tetapi, penggunaan di masyarakat umumnya tidak menggunakan tangki penampung sehingga dapat menimbulkan beberapa masalah, seperti ketidak-stabilan tekanan dan aliran gas yang memungkinkan terjadinya tekanan balik gas ke digester. Beberapa instalasi menggunakan tabung penampung dari plastik atau bahan lain, dan memerlukan penekanan tambahan agar biogas dapat mengalir dengan baik ke tungku pembakaran. Disamping berbahaya, tangki seperti ini juga sangat tidak praktis pada saat digunakan, sehingga mengurangi minat dalam memanfaatkan biogas tersebut sebagai sumber energi alternatif.

Dua alasan utama untuk menyimpan biogas adalah: 1) penyimpanan untuk penggunaan di tempat yang sama pada waktu berbeda, dan 2) penyimpanan sebelum/setelah didistribusikan ke tempat yang berbeda dari tempat produksi biogas tersebut. Penyimpanan biogas, baik untuk penggerak maupun untuk tungku, biasanya dikombinasikan dengan komponen utama lainnya. Penggunaan tangki penampung bermanfaat untuk meningkatkan keselamatan pada saat penggunaan biogas tersebut. Sistem penyimpanan yang paling sederhana dan murah adalah penyimpanan pada tekanan rendah, yang umumnya diterapkan untuk penyimpanan di tempat yang sama dengan tempat produksi tapu untuk penggunaan pada waktu berbeda.

Tangki *fleksibel* dari karet diharapkan dapat menjadi alternatif yang baik sebagai penampung biogas, dibandingkan plastik. Penggunaan karet sebagai tangki *flexible* dinilai memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemampuan pengembangan volume tangki *flexible* dapat meningkatkan kapasitas penampungan, serta dapat dikemas dalam ukuran yang relatif kecil sehingga memudahkan transportasinya. Disamping itu, energi kinetik yang berasal dari

pemompaan biogas sewaktu pengisian akan dikonversi cukup menjadi energi potensial sehingga *head* maupun laju aliran pelepasan biogas dari tangki ke titik pengguna akan tetap tinggi tanpa perlu penggunaan *discharge pump*, atau penekanan tambahan.

Akan tetapi, masalah yang dihadapi adalah cara pengisian biogas ke tangki penampungan karena tekanan di biodigester lebih rendah dari tekanan dalam tangki penampungan. Hal ini dapat diatasi dengan perancangan pompa pengisian dari bio-digester ke tangki penampungan. Untuk itu, juga diperlukan kajian kesesuaian sifat fisik dan termodinamis biogas terhadap karakteristik tangki karet.

Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk mengkaji potensi penggunaan tangki fleksibel (*flexible tank*) dari karet sebagai penampung biogas portable yang dapat diterapkan untuk keperluan domestik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu kajian sifat termofisik dan termodinamika biogas, perancangan dan pengujian pompa pengisi biogas ke tangki fleksibel, serta kajian tekno-ekonomi penerapan instalasi biogas yang dilengkapi dengan tangki penampungan. Kajian sifat termofisik dan termodinamika biogas meliputi sifat kinetika dan kompresibilitas gas dalam tangki fleksibel berdasarkan teori kinetika gas. Teori kinetika gas didasarkan pada tiga asumsi, yaitu:

- Gas terdiri atas molekul bermassa dan berdiameter tertentu dalam gerak acak yang tak berkesudahan.
- Ukuran molekul dapat diabaikan (yaitu diameternya jauh lebih kecil dari jarak rata-rata perpindahan setelah tumbukan).
- Molekul-molekul tidak berinteraksi, kecuali melakukan tumbukan elastis sempurna saat jarak antar pusat molekul sama dengan diameternya.

Perhitungan properti gas dilakukan dengan menggunakan Refpro 6.0, yaitu salah satu program aplikasi yang sering digunakan untuk menghitung properti

termodinamika berbagai zat. Perancang-bangunan pompa pengisi biogas ke tangki fleksibel didasarkan pada hasil kajian termodinamika biogas sampel. Pada prinsipnya, rancangan pompa mengikuti mekanisme pompa udara sistem hidrolik dengan modifikasi yang diperlukan untuk menyesuaikan terhadap properti fisik gas bio hasil kajian termodinamika. Kajian tekno-ekonomi pemanfaatan tangki penampungan dilakukan berdasarkan perhitungan biaya persatuan output energi, yang merupakan salah satu metode yang dapat dipakai untuk menilai kinerja suatu alat dalam memproduksi suatu unit satuan energi. Perhitungan ini didasarkan pada banyaknya biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan nilai output pada kurun waktu tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian Termodinamika Biogas

Biogas diproduksi melalui pencernaan anaerobic (anaerobic digestion), dengan kata lain dengan menguraikan bahan organik melalui aktivitas mikrobiologi tanpa keberadaan udara. Komposisi gas yang dihasilkan di digester sangat tergantung pada proses yang berlangsung dan aktivitas mikroorganisma yang terlibat. Pada umumnya, biogas yang dihasilkan akan mengandung metan dan CO₂ dengan perbandingan 6:4, dimana kandungan metan dapat berkisar antara 55-80%. Selain metan dan CO₂, biogas juga mengandung gas-gas lain seperti H₂.

Sampel biogas diambil dari dua instalasi digester yang berbeda di peternakan rakyat Kebun Pedes Bogor. Digester terbuat dari bahan *fiberglass*, yang dilengkapi dengan kolam *slury* dan menggunakan bahan umpan kotoran sapi yang disalurkan langsung dari kandang. Digester tidak dilengkapi dengan pengendali suhu sehingga proses yang terjadi tergantung pada suhu lingkungan di peternakan setempat, yaitu berkisar antara 28-32°C. Dengan demikian proses yang berlangsung diharapkan adalah proses *mesophylic*. Proses berlangsung satu tahap dengan prosedur pengisian tak-kontinyu dengan hasil biogas yang tidak seragam dari waktu ke waktu.

Komposisi gas yang diperoleh berdasarkan uji laboratorium terhadap sampel biogas tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel tersebut menunjukkan variasi komposisi gas yang cukup besar antara sampel 1 dan sampel 2. Perbedaan komposisi tersebut diduga sebagai akibat perbedaan keadaan kotoran sapi yang diumpankan dan proses yang berlangsung di digester.

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi gas pada biogas sampel

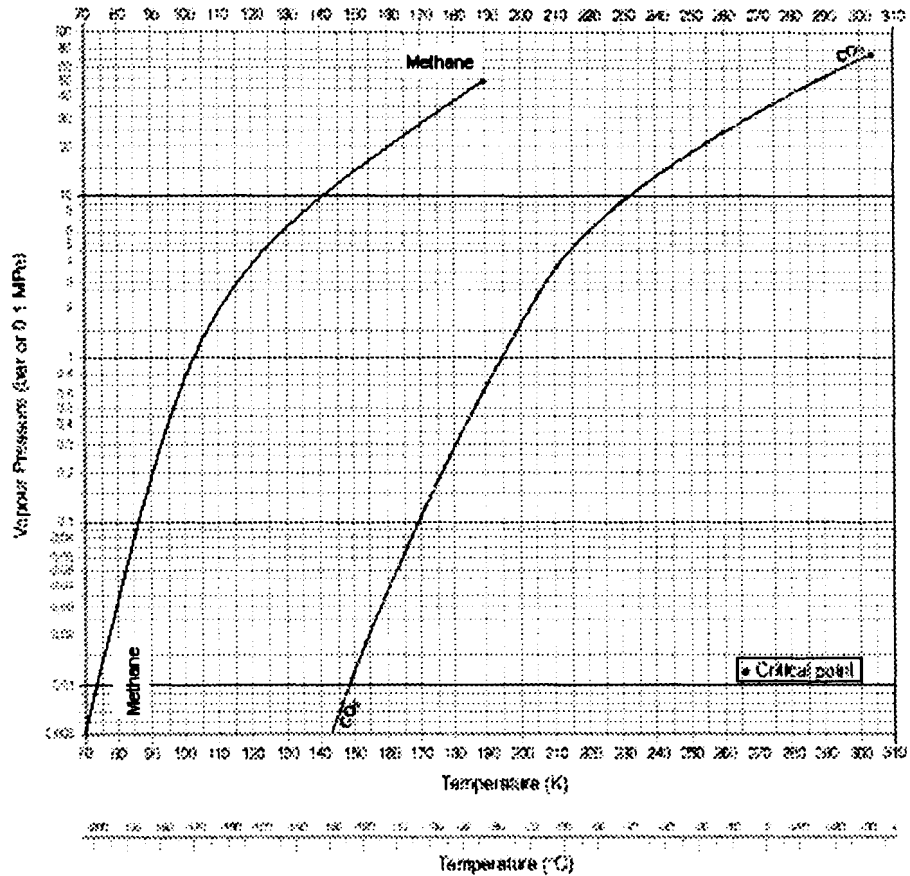
Parameter	Sample ke-1	Sample ke-2	Unit	Metoda Uji
Nitrogen oxide, NO _x	0,09	0,01	mg/m ³	Spectrometry (Griess Saltzman)
Ammonia, NH ₃ **	0,27	0,01	mg/m ³	Spectrometry (Indophenol)
Hidrogen Sulfida, H ₂ S**	0,45	136,10	mg/m ³	Spectrometry (Methylene Blue)
Sulphur Dioxide, SO ₂	0,06	6,24	mg/m ³	Spectrometry (Pararosanilin)
Chloride, CL ₂	0,07	0,10	mg/m ³	Spectrometry (Methylene Jingga)
Carbon dioxide (CO ₂)	131132,10	218553,50	mg/m ³	TOC Analyzer
Carbon monoxide (CO)	3,58	240	ppm	Kit Tube Detector
Hydrocarbon, HC (asCH ₄)	584325,73	547470,70	ppm	GC

Biogas adalah campuran beberapa gas hasil perombakan bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi tanpa udara (anaerobik), dimana metan (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) merupakan komponen gas terbanyak. Sebagai sumber energi, biogas dapat dibakar dengan nilai kalor tinggi yaitu pada kisaran 4700-5000 kkal/m³. Nilai kalor biogas ditentukan oleh perbandingan gas metan (CH₄) terhadap karbon dioksida (CO₂). Metan adalah hidrokarbon sederhana yang berbentuk gas pada suhu dan tekanan standar, dengan rumus kimia CH₄. Nilai standar beberapa properti termodinamika biometan dan CO₂ ditunjukkan pada Tabel 2. Semakin tinggi persentase gas metan maka nilai kalor biogas tersebut pun semakin tinggi. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa mutu biogas pada sampel 1 lebih baik dari pada sampel 2, karena menghasilkan gas metan yang lebih besar, dan CO₂, NH₃, H₂S serta CO yang lebih kecil.

Tabel 2. Properti metan dan CO₂ dari biogas (berbagai sumber)

Properti	Satuan	Metan	CO ₂
Rumus kimiawi		CH ₄	CO ₂
Berat molekul	g/mol	16,043	44,01
Densitas gas (1,013 bar, 15 °C)	kg/m ³	0,68	1,87
Densitas cairan	kg/m ³	422,62 (1,013 bar, titik didih)	1032 (1,013 bar, -20 °C)
Suhu titik lebur	°C	-182,5	
Suhu titik didih (1,013 bar)	°C	-161,6	-78,5
Suhu titik kritik	°C	-82,7	31
Tekanan titik kritik	bar	45,96	73,825
Faktor kompresibilitas (1,013 bar, 15 °C)		0,9980	0,9942
Panas laten fusi (1,013 bar, triple point)	kJ/kg	58,68	196,104
Panas laten penguapan (1 bar, titik didih)	kJ/kg	510	571,08
Kapasitas panas (C _p)	kJ/mol.K	0,035	0,037
Kapasitas panas (C _v)	kJ/mol.K	0,027	0,028
Kekentalan (1,013 bar, 0 °C)	Poise	0,0001027	0,0001372
Konduktivitas termal (1,013 bar, 0 °C)	mW/(m.K)	32,81	14,65
Nilai kalor	MJ/kg kkal/m ³	50 8160	
Bilangan oktan	ROZ	130	
Ekivalensi BBM	l	1,4	
Batas flamabilitas (kondisi STP, % vol)		5,0-15,0	
Suhu autoignition	°C	595	

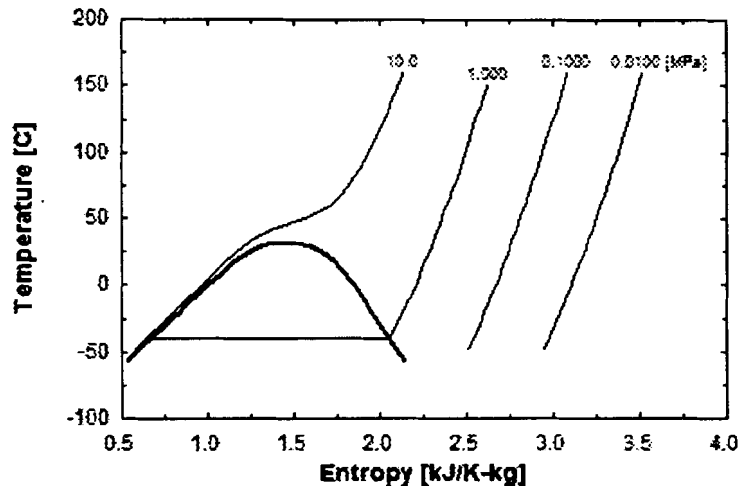
Dari Tabel 2 dan Gambar 1 diketahui bahwa titik kritik metan dan karbondioksida masing-masing adalah -82,7 °C pada 45,96 MPa, dan 31 °C pada 73,825 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu lingkungan (30 °C) metan tidak dapat dicairkan hanya dengan memberikan tekanan akan tetapi dengan penurunan suhu ke sekitar 100 K (-173 °C) pada tekanan 1 atmosfer (0,1 MPa), atau dengan kombinasi penurunan suhu dan peningkatan tekanan. Disamping itu, pengempaan gas metan hingga 0,5 Mpa tidak mengakibatkan peningkatan suhu yang terlalu besar, sehingga tidak akan menimbulkan bahaya kebakaran dalam tangki karena tingginya suhu *autoignition*.



Gambar 1. Diagram Tekanan Uap Metan dan CO₂

Sementara itu, karbondioksida pada suhu 30 °C mempunyai tekanan jenuh pada 7,205 MPa. Pengempaan karbondioksida hingga ke titik jenuh tersebut akan menyebabkan perubahan fase menjadi cair. Diagram suhu-entropi (T-s) karbondioksida ditunjukkan pada Gambar 2. Campuran karbondioksida dengan metana di dalam biogas merupakan campuran azeotropik.

Pada penelitian ini penyimpanan dilakukan pada tekanan maksimum 5 atmosfer (0,5 MPa). Berdasarkan uraian di atas, kondisi kondisi penyimpanan dan pengisian dari digester ke tangki penyimpanan tidak menyebabkan perubahan yang cukup besar terhadap sifat termofisik biogas yang disimpan. Komposisi gas dalam biogas berpengaruh terhadap sifat termofisik biogas tersebut dan terhadap kestabilan penyimpanannya.

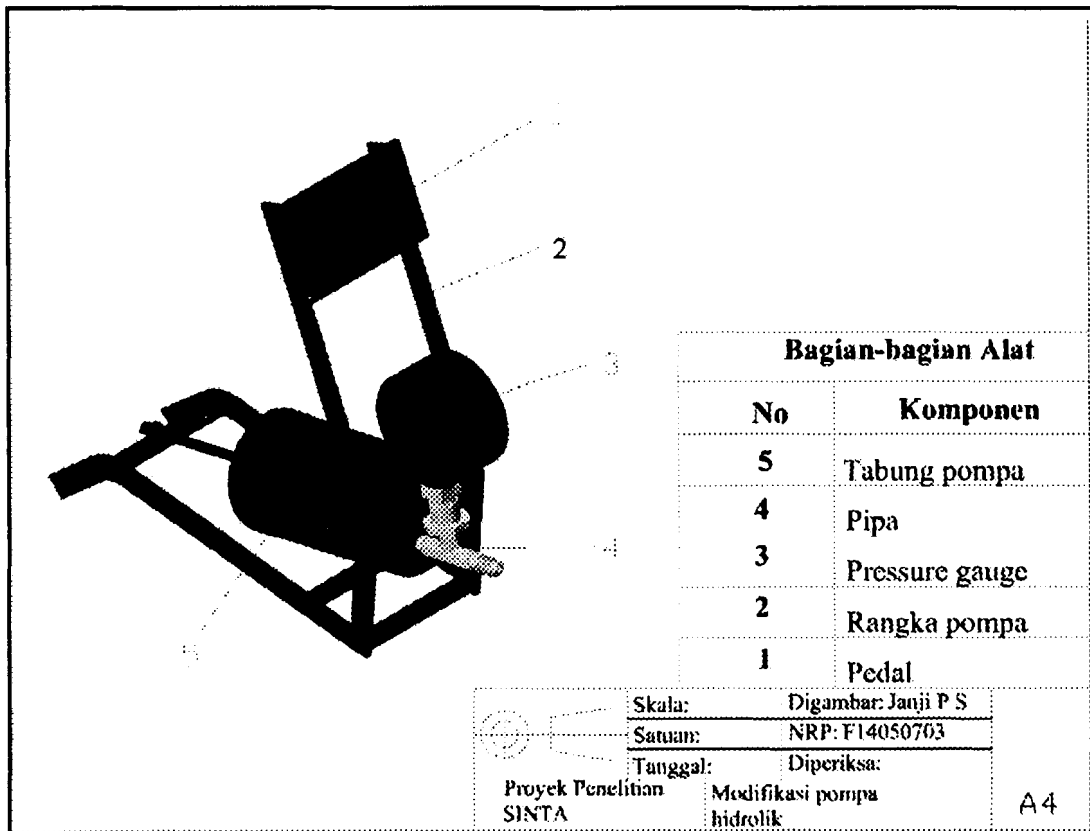


Gambar 2. Diagram suhu-entropi (T-s) untuk CO₂ dihitung menggunakan Refpro 6.0

Rancang-Bangun dan Kajian Tekno-ekonomi Pompa

Rancangan sistem pemompaan yang diterapkan adalah modifikasi pompa udara yang umum digunakan untuk pengisian udara ban sepeda atau sepeda motor. Berdasarkan kajian termodinamika biogas, pompa dirancang untuk kemampuan tekan hingga 5 atmosfer (0,5 MPa). Tingkat tekanan tersebut dihadapkan dapat mengatasi tekanan balik dari tangki karet yang dapat memberi tekanan hingga 2 atmosfer. Disamping itu, energi yang diperlukan untuk melakukan pemompaan ke tekanan tersebut masih dapat dipenuhi dengan tenaga manusia. Modifikasi dilakukan terhadap saluran pemasukan dan pengeluaran udara pada pompa dan disesuaikan terhadap keadaan biodigester dan tangki penyimpanan. Gambar piktorial rancang-bangun pompa hasil modifikasi ditunjukkan pada Gambar 3.

Perhitungan biaya persatuan output energi adalah salah satu metode yang dapat dipakai untuk menilai kinerja suatu alat dalam memproduksi suatu satuan energi. Perhitungan ini didasarkan pada banyaknya biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan nilai output pada kurun waktu tertentu. Nilai biogas dihitung dengan cara membandingkan nilai energi efektif biogas terhadap nilai energi efektif bila memakai minyak tanah dan LPG. Biogas memiliki nilai kalor 4700 – 5000 kcal/m³ dengan komposisi volume 50-60 % CH₄ dan 40-50 % CO₂.



Gambar 3. Modifikasi pompa hidrolik menjadi pompa pengisian biogas

Kajian tekno-ekonomi dilakukan dengan menggunakan pembangkit tipe berkapasitas 9 m³ sebagai dasar perhitungan biaya. Asumsi dan kuantifikasi yang dilakukan meliputi penentuan bunga modal yang diasumsikan sebesar 20% dan umur pakai masing-masing komponen. Nilai-nilai tersebut dipakai sebagai dasar untuk menghitung besarnya penyusutan per tahun untuk masing-masing komponen. Berdasarkan analisis biaya persatuan output energi biogas dan minyak tanah dapat dilihat bahwa harga per unit output biogas adalah Rp 0,7853/kkal. Biaya energi tersebut masih lebih rendah dari biaya energi penggunaan minyak tanah, dengan asumsi harga Rp 9000/l, yaitu Rp. 2,2355/kkal, sehingga pemakaian biogas sebagai sumber energi sangat prospektif apabila dilihat dari segi ekonomi.

Analisis ekonomi terhadap aplikasi tangki *Flexible* dari karet sebagai penampung biogas portabel menunjukkan terjadinya penambahan biaya operasional tahunan sebanyak Rp. 213.309 /tahun, dan akan meningkatkan harga

per unit output biogas menjadi Rp 0,824/kkal. Peningkatan biaya energi ini masih relatif sangat kecil dibandingkan dengan biaya energi minyak tanah.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian termodinamika terhadap sampel biogas menunjukkan bahwa pengempaan biogas ke tekanan 0,5 MPa tidak menyebabkan terjadinya perubahan status gas.
2. Pompa dirancang dengan kemampuan tekan mencapai 5 atmosfer (0,5 MPa) sehingga diharapkan dapat mengatasi tekanan balik dari tangki karet yang akan digunakan sebagai tempat penyimpanan biogas.
3. Aplikasi *Flexible Tank* menambah biaya operasional tahunan sebanyak Rp. 213.309 /tahun, dan meningkatkan harga per unit output biogas menjadi Rp 0,824/kkal, tetapi masih relatif kecil dibandingkan dengan biaya energi minyak tanah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah menyediakan dana penelitian melalui Hibah Sinta tahun anggaran 2009.

PUSTAKA

- Bakri, B., dan Salundik, 2002, Treatment and utilization of animal wastes in Indonesia. Global Perspective in Livestock Waste Management. Proceedings of the Fourth International Livestock Waste Management Symposium and Technology Expo. Penang, Malaysia.
- Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian. 2006. Program Bio Energi Perdesaan (BEP) Biogas Skala Rumah Tangga. Ditjen Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian. Departemen Pertanian.

- Mulyanto , Adi. 2008. Transformasi Lingkungan dengan Adanya Biogas sebagai Bahan Bakar Ramah Lingkungan. Makalah Seminar. 31 Mei 2008. IPB. Bogor.
- Ningrum R E. 2008. Audit Energi pada Peternakan Sapi Perah di Kawasan Peternakan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Rutz, D., Janssen, R., 2007, Biofuel Technology Handbook, WIP Renewable Energies
- Simamora, S., Salundik, S. Wahyunu, dan Surajudin, 2005, Gas Bio Pengganti Minyak Tanah, Agri, Jakarta