

Produksi Biogas Dari Limbah Peternakan Sapi

Adrianto Ahmad dan Said Zul Amraini

Lab. Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia-Universitas Riau
adri@unri.ac.id

ABSTRAK

Program sapi K2I Propinsi Riau telah didistribusikan sebesar 4.740 ekor sapi hingga tahun 2010, dengan sendirinya akan menghasilkan limbah padat sebesar 94.800 kg per hari maka potensi biogas yang diperoleh dari proses biokonversi energi sebesar 3.412.800 Liter per hari atau 3.412,8 m³ per hari. Gas metan tersebut dapat dikonversi menjadi energi listrik dan energi pembakaran dan cairan hasil fermentasi dapat digunakan sebagai pupuk cair yang mengandung nitrogen, posfor dan kalium. Penelitian ini dilakukan dengan variabel waktu tinggal hidraulik 5, 7,5 dan 10 hari dengan volume 1000 L yang dioperasikan secara kontinu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu tinggal optimum diperoleh pada WTH 10 hari dengan kualitas efluen C:N:P sebesar 110:1:0,0005 dan menghasilkan api biru yang dapat digunakan selama 90 menit.

Kata kunci : *anaerob, biogas, kotoran sapi, proses kontinu*

PENDAHULUAN

Propinsi Riau mempunyai potensi besar dalam pengembangan bidang peternakan, terutama peternakan sapi karena letak geografis dan topografi yang sangat mendukung hal tersebut. Di samping itu, permintaan pasar dunia terutama negara Singapura dan Malaysia adalah sangat besar sehingga peluang ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan perekonomian masyarakat di Propinsi Riau. Pengembangan bidang peternakan ini sejalan dengan program pemerintah Propinsi Riau yakni PROGRAM K2I (Kemiskinan, Kebodohan dan Infrastruktur) dimulai dari tahun 2006 hingga saat ini telah mencapai 4.740 ekor sapi (Riau Pos, 2 Desember 2010), sedangkan target Pemerintah Propinsi Riau adalah sebesar 9.560 sapi ke Kabupaten/kota di Riau (Riau Pos, 31 maret 2011). Pengembangan peternakan sapi tersebut tentu dengan sendirinya akan mempunyai hasil samping berupa limbah padat seperti kotoran sapi dan sampah organik. Apabila limbah padat tersebut tidak diolah dengan baik akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan yang dapat mempengaruhi pemanasan global. Oleh karena itu, penting diupayakan pemanfaatan limbah padat tersebut sebagai sumber energi bakar alternatif yakni BIOGAS sebagai pengganti LPG atau Minyak Tanah atau kayu bakar dan cairan yang keluar dari proses tersebut dapat digunakan sebagai pupuk cair.

Sementara itu, prospek pengembangan biogas sebagai sumber energi baru dan terbarukan membantu masyarakat agar ketergantungan terhadap minyak tanah, LPG atau kayu bakar dapat dikurangi karena potensi

bahan bakar gas sebagai pengganti BBM dengan mudah diperoleh oleh masyarakat pedesaan. Kemudahan tersebut disebabkan oleh mudahnya mendapatkan bahan baku untuk pembuatan biogas yakni dari kotoran sapi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seekor sapi dalam satu hari dapat menghasilkan kotoran sebanyak 10-20 kg, sedangkan setiap 10 kg kotoran sapi berpotensi menghasilkan 360 liter biogas. Dengan target sapi program K2I Propinsi Riau sebesar 4.740 ekor sapi pada tahun 2010 akan menghasilkan limbah padat sebesar 94.800 kg per hari maka potensi biogas yang diperoleh dari proses biokonversi sebesar 3.412.800 Liter per hari. Potensi energi gas metan yang dihasilkan adalah sebesar 2.388.960 Liter atau 2.388,96 m³ gas metan per hari sebagai bahan dasar untuk pengembangan energi (Ahmad, 2011).

Pengolahan kotoran sapi menjadi biogas memberikan manfaat ganda yakni menghasilkan energi alternatif dan bahan sisa fermentasi dapat digunakan sebagai pupuk cair. Penerapan bioteknologi dalam pembuatan biogas dapat meningkatkan jumlah peternak dan peternak dapat memanfaatkan biogas untuk memasak dengan harga murah, bersih, ramah lingkungan, menghemat devisa negara dan mendukung perbaikan ekonomi rakyat serta pupuk cair dapat dijadikan pendapatan baru (*income generating*) bagi masyarakat di pedesaan (Ahmad, 2008).

Untuk menumbuhkembangkan pengetahuan pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar oleh masyarakat di pedesaan, salah satu upaya adalah pemanfaatan biogas sebagai sumber energi bahan bakar alternatif di pedesaan dalam rangka mewujudkan Desa Mandiri Energi. Dengan demikian, diharapkan permasalahan pencemaran lingkungan dan kesulitan minyak tanah serta kayu bakar di pedesaan dapat diatasi dan dikurangi dengan memberikan pengetahuan kepada masyarakat di Pedesaan tersebut tentang pemanfaatan kotoran sapi menjadi bahan bakar gas alternatif dalam rangka mewujudkan Desa Mandiri Energi. Makalah ini berupaya mengungkapkan biokonversi limbah cair peternakan sapi menjadi biogas dengan menggunakan pembangkit biogas secara anaerob.

METODE

Metoda penelitian yang diuraikan di bawah ini mencakup sumber dan karakteristik limbah peternakan sapi, sumber biomassa, peralatan pembangkit biogas, pengujian penerapan pembangkit biogas di lapangan serta metoda analisa.

1. Sumber dan Karakteristik Limbah Cair

Bahan yang digunakan dalam kegiatan ini berasal dari limbah peternakan sapi berlokasi di Desa Batubelah Kabupaten Kampar, Propinsi Riau. Sumber Limbah peternakan sapi berasal dari 20 kelompok peternak sapi yang digunakan sebagai bahan baku.

2. Sumber Bakteri anaerob

Bakteri anaerob yang digunakan berasal dari lumpur bakteri anaerob yang telah diaklimatisasi. Proses ini dilakukan selama 20 hari untuk memastikan bahwa bibit telah teraklimatisasi dengan baik terhadap limbah cair tersebut. Pengadaan bibit bakteri anaerob dilakukan pada Laboratorium Rekayasa Bioproses Fakultas Teknik Universitas Riau.

3. Peralatan Pembangkit Biogas Secara Anaerob

Pembangkit Biogas dilengkapi dengan tangki pembangkit biogas anaerob dan perpipaan untuk mengalirkan biogas ke wadah penampung gas. *Set-up* pembangkit biogas dilakukan di Lahan peternak sapi di Desa Batubelah, Kabupaten Kampar Propinsi Riau. Proses pengoperasian tangki pembangkit biogas berlangsung dengan waktu tinggal hidraulik sebesar WTH 5, 7,5 dan 10 hari. Volume tangki pembangkit biogas anaerob sebesar 1750 L, sedangkan volume kerja efektif sebesar 1000 L dengan kondisi operasi pada suhu ruang. Proses pengoperasian pembangkit biogas berlangsung dengan waktu tinggal hidraulik sebesar WTH 5, 7,5 dan 10 hari. Kondisi operasi pada suhu ruang dan pH netral. Proses ini berlangsung hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan timbulnya



Gambar 1. Konfigurasi Pembangkit Biogas

biogas dengan laju alir yang konstan. *Set-up* pembangkit biogas dapat dilihat pada Gambar 1.

4. Proses Pengembang-biakan Bakteri Anaerob

Proses pengembang-biakan bibit bakteri anaerob berlangsung dalam tangki anaerob. Bibit bakteri anaerob dimasukkan secara bertahap ke dalam tangki pembangkit biogas anaerob hingga mencapai volume cairan sebesar 1000 L. Setelah tercapai volume kerja tersebut dilanjutkan dengan proses *Start-up* pembangkit biogas. Kondisi operasi pada suhu ruang. Proses ini berlangsung hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan indikator laju alir biogas konstan. Hasil kegiatan pada tahap ini disajikan sebagai berikut.



Gambar 2. Bibit Bakteri Anaerob

5. Metoda Analisa

Parameter yang diamati antara lain pH, suhu, COD total. Parameter tersebut dianalisa sesuai dengan metoda standar (APHA, AWWA, WCF, 1992), sedangkan volume gas dengan metoda penampungan dengan larutan NaCl jenuh.

Tabel 1. Parameter, lokasi dan frekuensi sampel

PARAMETER	LOKASI SAMPEL	FREKUENSI
pH	umpan, keluaran	Tiap hari
SUHU	Umpan, keluaran	Tiap hari
COD	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
Total Nitrogen	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
Total Fospor	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
Total Kalium	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
Lama Pembakaran	Kompor gas	Tiap hari

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan diuraikan mengenai karakteristik limbah cair, proses pembangkit biogas di laboratorium dan pengujian lapangan.

1. Karakteristik Limbah Cair

Pada bagian ini dikaji tentang karakteristik limbah cair yang akan digunakan sebagai umpan pembangkit biogas secara anaerob. Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair peternakan sapi berupa kotoran sapi di Desa Batubelah Kabupaten Kampar Propinsi Riau dengan karakteristik seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa limbah cair kotoran sapi yang akan dikonversi menjadi biogas mempunyai kandungan organik yang tinggi yang diekspresikan sebagai COD, kandungan nitrogen, fospor dan bersifat basa. Berdasarkan kandungan senyawa organik tersebut maka proses biokonversi yang sesuai adalah proses anaerob. Menurut Malina dan Pohland (1992) bahwa limbah cair yang mengandung COD di atas 3000 mg/L lebih baik diolah secara anaerob dibandingkan dengan proses aerob. Hal ini disebabkan bahwa biokonversi limbah cair dengan kandungan COD di atas 3000 mg/L secara aerob membutuhkan energi yang besar untuk proses aerasi.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Peternakan Sapi

PARAMETER	SATUAN	BESARAN
pH	Unit	8-8,6
SUHU	⁰ C	26-28
COD	mg/L	25.600
Total Nitrogen	mg/L	174,7
Total Posfor	mg/L	0,04
Total Kalium	mg/L	< 0,03

2. Pengujian Pembangkit Biogas skala Laboratorium

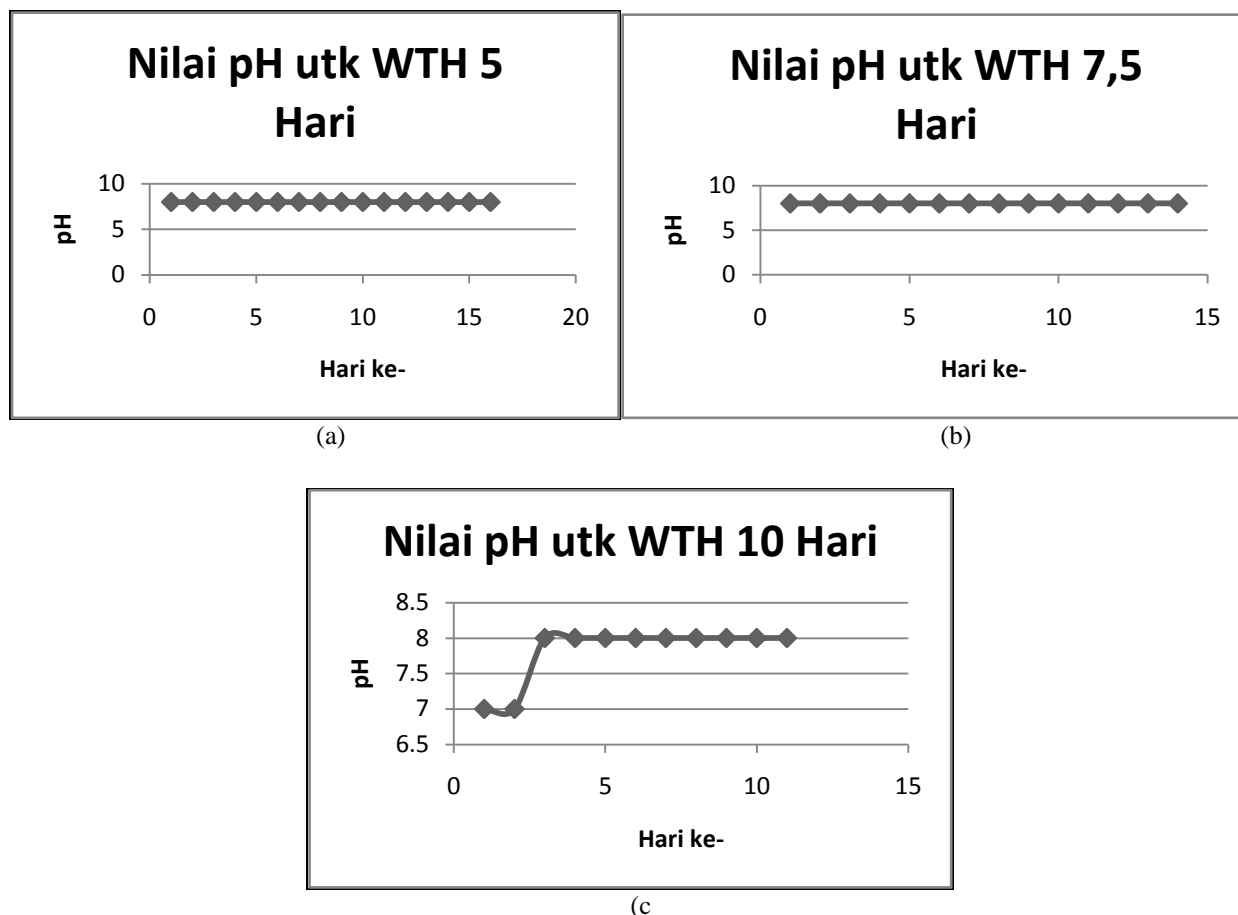
Pengujian pembangkit biogas dilakukan dengan waktu tinggal hidraulik (WTH) dari 5 hari, 7,5 hari dan 10 hari. Untuk mengkaji kondisi optimum tersebut dilakukan pengamatan dengan melihat hubungan antara waktu terhadap pH, suhu, penyisihan COD, dan produksi biogas hingga mencapai keadaan tunak (*steady state*).

pH Sistem

Perubahan nilai pH dengan berbagai waktu tinggal hidraulik ditampilkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pengujian waktu tinggal hidraulik pada 5 hari diperoleh pH sistem sebesar pH 8, dan hal yang sama diperoleh pada waktu tinggal hidraulik 7,5 hari, sedangkan hal berbeda diperoleh pada waktu tinggal hidraulik 10 hari yakni saat

awal proses terjadi peningkatan dari pH 7 menjadi pH 8. Hal ini terjadi disebabkan oleh pengaruh proses aklimatisasi yang berlangsung pada pH 7, sementara itu pH limbah cair yang digunakan sebagai umpan berkisar dari pH 8 sampai 8,6. Menurut Sahm (1984) bahwa pengolahan limbah secara anaerob berlangsung optimum pada rentang pH 6 hingga 8, sedangkan menurut Benefield dan Randall (1980) bahwa kondisi optimum fermentasi metan berlangsung pada rentang pH 6,8 hingga 7,4. Dengan demikian, pengujian dengan berbagai waktu tinggal hidraulik optimum tidak mempengaruhi kestabilan pH sistem yang diamati selama 16 hari sehingga pengaruh waktu tinggal hidraulik terhadap sistem pembangkit biogas selama proses tidak signifikan.



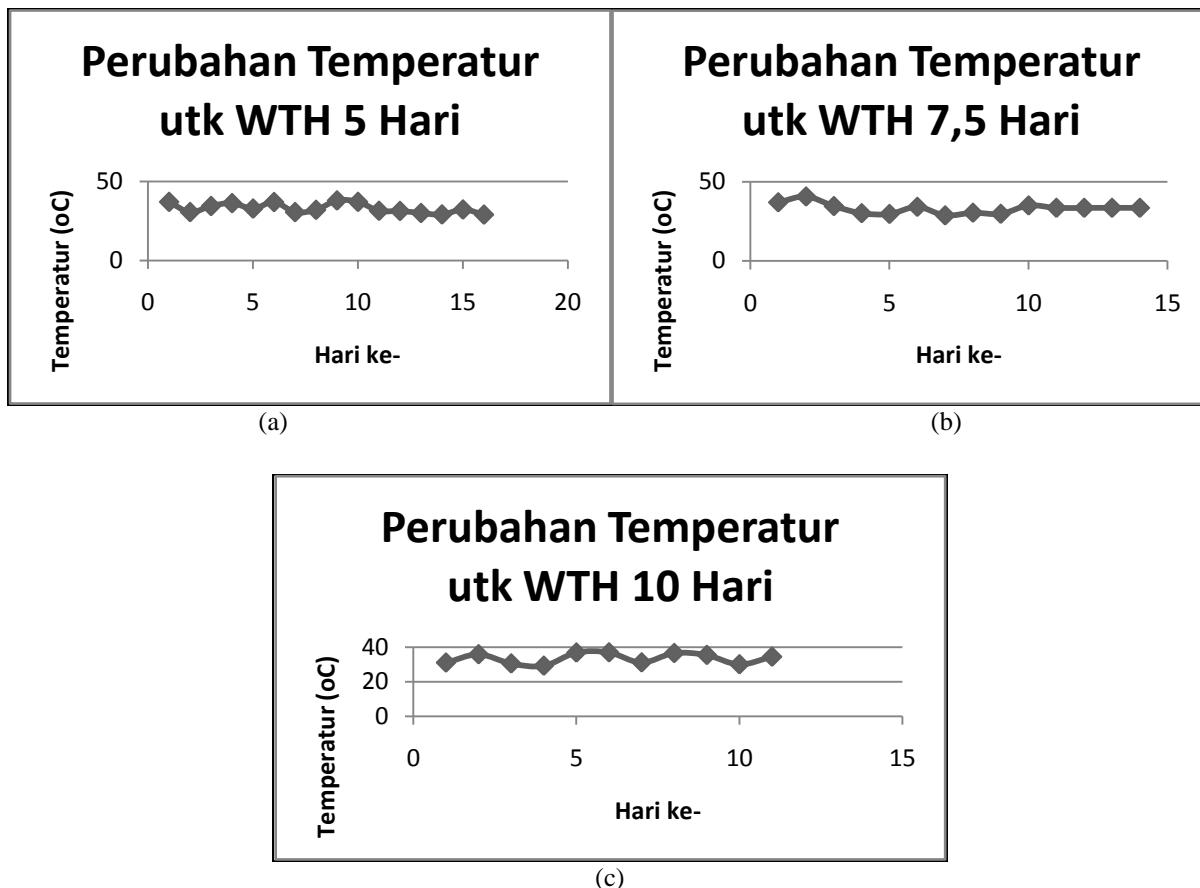
Gambar 3 Hubungan waktu tinggal hidraulik terhadap pH pada pembangkit biogas dengan WTH (a) 5 hari, (b) 7,5 hari, (c) 10 hari

Suhu Sistem

Perubahan nilai suhu dengan berbagai waktu tinggal hidraulik ditampilkan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa suhu pada pembangkit biogas dengan waktu tinggal hidraulik 5 hari berkisar dari suhu 29-38 °C, sedangkan pada waktu tinggal hidraulik 7,5 hari berkisar dari 29-47 °C. Sementara itu, pada waktu tinggal hidraulik 10 hari berkisar dari 29-37 °C. Menurut Benefield dan Randall (1980) bahwa proses anaerob berlangsung pada rentang suhu 30 hingga 35 °C merupakan kondisi pertumbuhan bakteri anaerob kelompok mesofilik, sedangkan lebih besar dari 35 hingga 40 °C masih termasuk bakteri anaerob kelompok mesofilik. Dengan demikian, bakteri anaerob yang terlibat dalam proses pembangkit biogas secara anaerob tersebut tergolong kepada bakteri anaerob kelompok mesofilik. Menurut Ahmad (2001) bahwa bakteri anaerob yang berasal dari kotoran sapi diaklimatisasi dengan berbagai substrat diperoleh

berbagai konsorsium bakteri anaerob yaitu biomassa yang berasal dari pencerna anaerob yang mengandung *Clostridium sp1*, *C. butyricum* dan *C. sporogenes*, kemudian diberi substrat karbohidrat ditemukan *Clostridium sp*, *C. cochlearium* dan *C. carnis*. Aklimatisasi dengan substrat protein ditemukan hanya *C. butyricum* dan aklimatisasi dengan substrat minyak-lamak ditemukan *C. cochlearium* dan *C. celatum* sedangkan aklimatisasi dengan campuran ketiga substrat ditemukan hanya *C. butyricum*. Sementara itu, biomassa yang berasal dari pembangkit biogas berpenyekat anaerob ditemui *Clostridium sp2*, *C. limosum* dan *C. cochlearium*, kemudian diberi substrat karbohidrat ditemukan hanya *C. leptum*, dengan substrat protein ditemukan hanya *C. leptum*, dengan substrat minyak-lamak ditemukan *C. leptum* dan *C. pseudotetanicum* sedangkan dengan campuran ketiga substrat ditemukan hanya *C. cochlearium*.



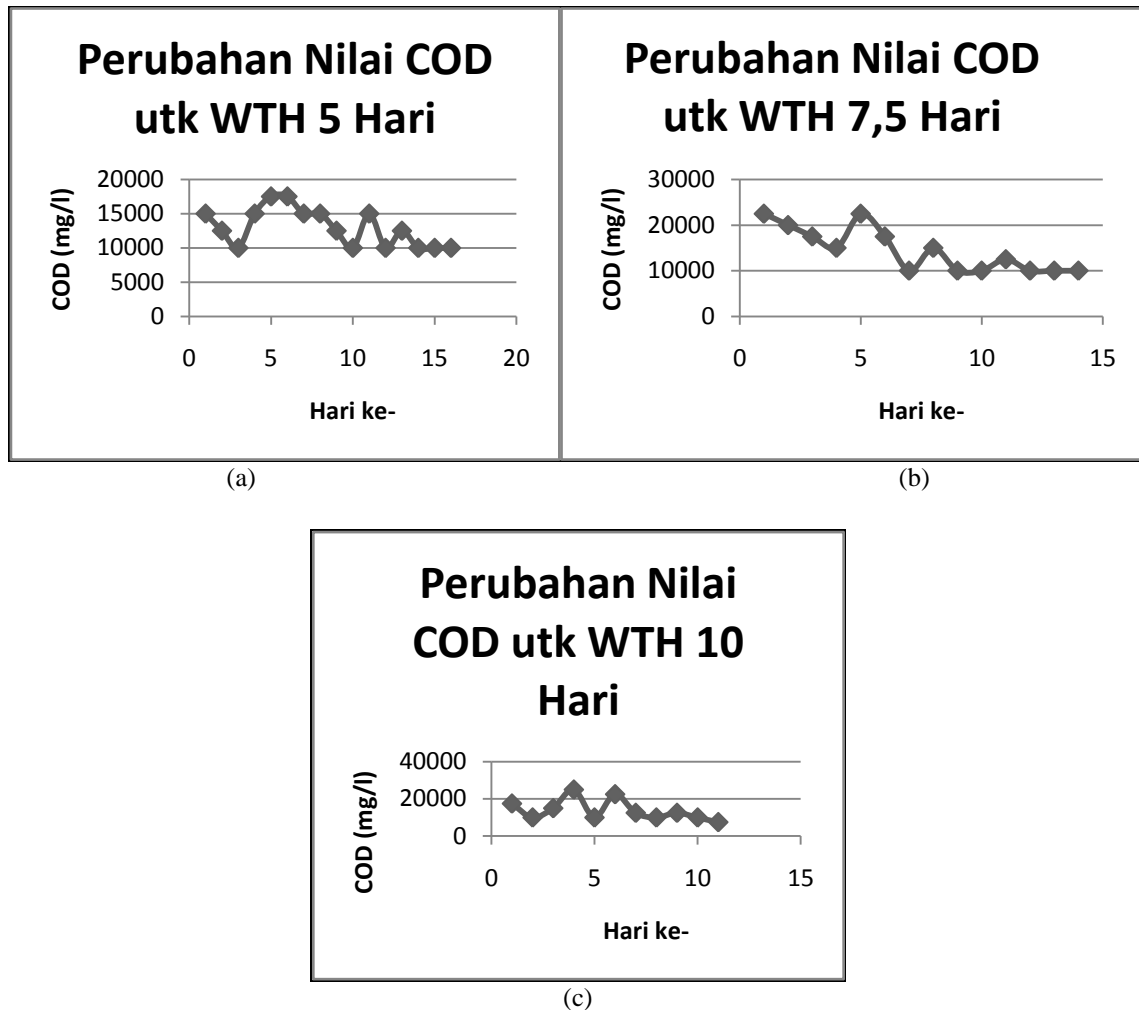
Gambar 4 Hubungan waktu tinggal hidraulik terhadap suhu pada pembangkit biogas dengan WTH (a) 5 hari, (b) 7,5 hari, (c) 10 hari

Penyisihan COD

Perubahan nilai COD dengan berbagai waktu tinggal hidraulik ditampilkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa konsentrasi COD pada waktu tinggal hidraulik 5 hari berfluktuasi dari awal proses hingga hari ke 12 dan mencapai keadaan tunak dari hari ke 14 hingga 16 dengan konsentrasi COD sebesar 10.000 mg/L. Sementara itu, konsentrasi COD pada waktu tinggal hidraulik 7,5 hari berfluktuasi dari awal proses hingga hari ke 11 dan mencapai keadaan tunak dari hari ke 12 hingga 14 dengan konsentrasi COD sebesar 10.000 mg/L, sedangkan konsentrasi COD pada waktu tinggal hidraulik 10 hari berfluktuasi dari awal

proses hingga hari ke 8 dan mencapai keadaan tunak dari hari ke 9 hingga 11 dengan konsentrasi terendah sebesar 5.000 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena pada waktu tinggal hidraulik 10 hari mendapatkan beban organik yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan waktu tinggal hidraulik yang lain, sehingga kemampuan bakteri anaerob dalam mengkonversi kotoran sapi menjadi biogas menjadi lebih baik. Dengan demikian, waktu tinggal hidraulik yang optimum diperoleh pada 10 hari yang mampu mengkonversi limbah cair peternakan sapi menjadi biogas dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 75 %.



Gambar 5 Hubungan waktu tinggal hidraulik terhadap COD pada pembangkit biogas dengan WTH (a) 5 hari, (b) 7,5 hari, (c) 10 hari

3. Pengujian Penerapan Pembangkit Biogas di Lapangan

Proses pengoperasian pembangkit biogas berlangsung dengan waktu tinggal hidraulik sebesar WTH 14,3 hari. Pada tangki pembangkit biogas anaerob,

diumpungkan limbah peternakan sapi dengan laju alir 70 L/hari. Kondisi operasi pada suhu ruang dan kontinu. Proses ini berlangsung hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan timbulnya biogas dengan laju alir yang konstan. Hasil kegiatan pada tahap ini disajikan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pembangkit Biogas Bersama Peternak Sapi

Proses Pemanfaatan Biogas

Proses pengoperasian pembangkit biogas telah berlangsung dengan baik apabila biogas yang dihasilkan mempunyai laju alir yang konstan dengan warna api biru

dan dilewatkan melalui pipa yang dialirkan menuju dapur. Set-up pengaliran biogas ke kompor biogas ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 7 Peternak Uji-Coba Memasak Pada Kompor Biogas Rancangan Sederhana



Gambar 8 Pengujian Biogas Pada Kompor Yang Dimodifikasi Untuk Memasak Sayuran



Gambar 9 Pengujian Biogas Pada Kompor Yang Dimodifikasi Untuk Memasak Kacang Hijau

Hasil pembangkit biogas yang mempunyai kapasitas 1000 L (1 M³) dengan laju alir kotoran sapi 70 L/hari secara kontinu telah mampu menghasilkan biogas dengan penggunaan kompor sederhana selama 90 menit per hari yakni 45 menit pada pagi hari dan 45 menit pada sore hari. Kotoran sapi yang digunakan berasal dari 2 ekor sapi. Dengan demikian, peternak yang mempunyai 2 ekor sapi mampu menghasilkan gas bakar selama 90 menit perhari dan ini cukup untuk kebutuhan memasak untuk keluarga sederhana di pedesaan, sehingga dapat mengurangi kebutuhan akan minyak tanah, atau kebutuhan kayu bakar karena setiap 1 kg kotoran sapi akan mampu menghasilkan 0,023-0,04 m³ biogas, sedangkan setiap 1 m³ biogas setara dengan 0,46 kg Elpiji, 0,62 L Minyak Tanah, 0,52 L Minyak Solar, 0,80 L Bensin, 1,5 m³ gas kota dan 3,5 kg Kayu Bakar.

Dengan demikian, masalah pencemaran lingkungan akibat kotoran sapi dan penggunaan energi dari sumber daya alam tak terbarukan yang berasal dari fosil menjadi berkurang dan dapat menghemat biaya untuk kebutuhan minyak tanah yang semakin langka dan mahal. Di samping itu, cairan yang dihasilkan dari proses fermentasi ini dapat digunakan sebagai pupuk cair dengan kualitas C:N:P sebesar 110:1:0,0005 sehingga dapat menjadi salah satu sumber pendapatan bagi peternak tersebut yang siap untuk dijual ke pemilik lahan perkebunan,

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahwa telah ditemukan suatu **sistem pembangkit biogas** yang mampu mengkonversi limbah padat peternakan sapi dengan kinerja yang baik dengan laju pembebanan organik tinggi menghasilkan efisiensi penyisihan COD sebesar 75 % pada waktu retensi 10 hari dengan konsentrasi COD awal sebesar 20.000 mgCOD/L dan konsentrasi COD setelah diproses sebesar 5.000 mgCOD/L
2. Hasil penerapan teknologi pembangkit biogas yang dikembangkan di Dusun II Desa Batubelah Kabupaten Kampar dengan pasokan bahan baku dari dua ekor sapi untuk tangki pembangkit biogas kapasitas produksi 1000 L telah mampu menghasilkan api biru yang dapat dipakai selama 90 menit perhari dengan laju alir biogas sebesar 14,8 m³ perhari. Gas metan yang diperoleh mempunyai nilai kalor 71.040-99.160 kkal yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti minyak tanah dan elpiji. Di samping itu, pembakaran biogas tersebut menghasilkan energi ekuivalen setara dengan 103,6 kg minyak tanah, 51,4 kg kayu, 0,9 L kerosin, 9,0 L solar, 22 kg batu bara, 6,7 kg LPG atau 7,4 kg butan.
3. Dengan demikian, untuk keperluan memasak bagi peternak sapi tidak membutuhkan lagi minyak tanah, kayu bakar atau elpiji. Di samping itu,

pupuk cair yang dihasilkan setiap hari sebesar 70 L dapat digunakan untuk pemupukan lahan perkebunan atau dijual sebagai pendapatan baru (*income generating*) bagi peternak sapi. Sebagai energi alternatif, biogas bersifat ramah lingkungan dan dapat mengurangi efek rumah kaca karena akan mengurangi penggunaan kayu bakar sehingga mengurangi penebangan pohon di hutan dan ekosistem hutan tetap terjaga sehingga dapat mencegah perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ikatan Alumni Institut Teknologi Bandung (IA ITB) yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Pengentasan Kemiskinan IA ITB tahun 2010 dengan surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian No. 042/EXT/PP.IA-ITB/V/2010 tanggal 20 Mei 2010.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, A., *Kinerja Pembangkit biogas Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap Dalam Mengolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit*, Laporan Magang, PAU-Bioteknologi ITB, Bandung, (1992)
- Ahmad, A., T. Setiadi dan IG Wenten, *Pembangkit biogas Membran Anaerob Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Sawit*, Laporan Akhir HIBAH BERSAING IX, DP3M DIKTI DEPDIKNAS RI, Jakarta, (2003)
- Ahmad, Adrianto, **Biodegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dalam Sistem Pembangkit biogas Anaerob**, Disertasi, Program Pascasarjana ITB, Bandung, (2001)
- Ahmad, A dan T. Setiadi, Pemakaian pembangkit biogas unggun fluidisasi anaerob dua tahap dalam mengolah limbah cair pabrik minyak sawit, *Seminar Nasional Bioteknologi Industri*, PAU-Bioteknologi ITB, Bandung, 27-29 Januari, (1993)
- APHA, AWWA & WCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington DC, (1992)
- Arief, M., *Pengolahan Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Dengan Pembangkit biogas Unggun Fluidisasi Anaerobik*, Thesis Magister ITB, Bandung, (1992)
- Boopathy, R dan Sievers, Performance of a Modified Anaerobic Baffled Reactor (ABR) to Treat Swine Waste, *Transactions of the ASAE.*, 34(6), (1991)
- Boopathy, R, Larsen, V.F dan Senior, E., "Performance of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in Treating Distillery Wastewater from a Scotch Whisky Factory"., *Biomass*, 16, 133-143 (1988)
- Chen, J.S, C.T Li dan W.K Shieh, "Performance Evaluation of The Anaerobic Fluidized Bed

- Systems: I. Substrat Utilisation and Gas Production”, *J. Chem Tech. Biotech.*, 35, 101-109, (1985)
- Chin, K.K, Anaerobic treatment kinetics of palm oil sludge, *Wat. Res.*, 15, 199-202, (1981)
- Faisal, *Pengolahan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Dengan Pembangkit biogas Berpenyekat Anaerobik*, Thesis Magister ITB, Bandung, (1994)
- Ghosh, S dan Klass, D.L, “Two-Phase Anaerobic Digestion”, *Process Biochemistry*, april, 15-24, (1978)
- Grobicki, A dan Stuckey, D.C., “Performance of the Anaerobic Baffled Reactor under Steady State and Shock Loading Condition”, *Biotechnol. And Bioeng.*, 37, 344-355, (1991)
- Gujer, W dan A.J.B Zehnder, “ Conversion Processes in Anaerobic Digestion”, *Wat. Sci. Tech.*, 15, 127-167, (1983)
- Heijnen, J. J., A. Mulder, W. Enger, P.A Lourens, A.A Keijzers dan F.W.J.M.M Hoeks, “Application of Anaerobic Fluidized Bed Reactors in Biological Wastewater Treatment”, *Starch/Starke.*, 38(12), 419-428, (1986)
- Hickey, R.F, W.M Wu, M.C Veiga dan R. Jones, “Start-up, Monitoring and Control of High-rate Anaerobic Treatment Systems”, *Water Sci. Tech.*, 24(8), 207-255, (1991)
- Lema, J.M et al., “Chemical Engineering Concept in Operation and Design Process Anaerobic Wastewater Treatment”, *Water Sci. Tech.*, 24(8), 79-86, (1991)
- Malina, J.F. dan F.G. Pohland, Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, *Water Quality Management Library*, Vol. 7, (1992)
- McInerney, M.J, “ Anaerobic Hydrolysis and Fermentation of Fats and Protein”, *Biology of Anaerobic Microorganism*, editor: A.J.B Zehnder, John Willey and Sons, New York, (1988)
- Nakamura, M, H. Kanbe dan J. Matsumoto, ”Fundamental Studies on Hydrogen Production in the Acid-Forming Phase and Its Bacteria in Anaerobic Treatment Processes-the Effects of Solids Retention Time”, *Wat. Sci. Tech.*, 28(7), 81-88, (1993)
- Ng, W.J, K.K Wong dan Chin, K.K, “Two-phase Anaerobic Treatment Kinetics of Palm Oil Wastewaters”, *Water Res.*, 19(5), 667-669. (1985)
- Retnowati, E.I, *Pengaruh Laju Pembebanan dan Resirkulasi Pada Kinerja Biopan Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Sawit*, Thesis Magister ITB, Bandung, (1996)
- Sam-Soon, P, R.E Loewenthal, M, C. Wentzel dan GvR. Marais, “a Long-chain Fatty Acids, Oleat, as Sole Substrate in UASB Reactor Systems”, *Water SA.*, 17(1), 31-36, (1991)
- Thanh, N.C., High organic wastewater control and management in the tropics, *Water Pollution Control Conference*, CDG, AIT-ERL, Bangkok, Nov., (1980)
- Yang, P.Y dan Chou, C.Y., “Horizontal-Baffled Anaerobic Reactor for Treating Diluted Swine Wastewater”, *Agricultural Waste*, 14, 221-239, (1985).