

## PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI PERTANIAN UNTUK ENERGI BIOGAS

Teguh Wikan Widodo, Ana N., A.Asari dan Elita R.\*

\*Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong, Badan Litbang Pertanian,  
Departemen Pertanian, Email: teguh\_wikan\_widodo@yahoo.com

### ABSTRAK

Limbah industri pertanian (minyak kelapa sawit, tapioka, pabrik gula, peternakan sapi) dapat dimanfaatkan untuk energi biogas dengan cara fermentasi anaerob. Proses ini melibatkan bakteri methanogen untuk merombak bahan-bahan organik yang terkandung didalam limbah menjadi biogas dan lumpur sisa fermentasi yang dapat dimanfaatkan menjadi pupuk. Kegiatan dengan konsep nir limbah (zero waste) seperti ini lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian telah mengembangkan reaktor biogas kapasitas 18 m<sup>3</sup> atau dapat menampung kotoran sapi sebanyak 10–12 ekor. Reaktor biogas mampu menghasilkan biogas sebanyak 6 m<sup>3</sup>/ hari. Hasil pengamatan suhu reaktor biogas berkisar 25–27°C dan pH 7–7,8 menghasilkan biogas dengan kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>) sekitar 77%. Biogas yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai sumber energi pada kompor gas, lampu penerangan dan generator listrik skala rumah tangga. Analisa dampak lingkungan dari lumpur keluaran dari reaktor biogas menunjukkan penurunan COD dan BOD berturut-turut sebesar 90% dan 40% dari kondisi bahan awal. Analisa unsur utama N, P dan K menunjukkan tidak ada perbedaan nyata bila dibandingkan dengan pupuk kompos referensi. Analisa kelayakan ekonomi menunjukkan investasi layak dengan B/C Rasio 1,35 dan modal investasi kembali pada tahun ke-4 (umur ekonomi reaktor biogas 20 tahun). Uji kinerja motor bakar diesel dengan bahan bakar solar-biogas untuk membangkitkan daya listrik 3000 Watt menunjukkan hasil yang memuaskan, dengan konsumsi bahan bakar solar 100 ml/jam dan 0.39 m<sup>3</sup> biogas/kwh. Motor bakar ini sangat ramah lingkungan karena emisi gas buang sangat kecil dibandingkan SNI dan tingkat kebisingan 85 dB. Dan secara ekonomi layak dengan BC ratio 2,17; IRR=44,96 dan Simple Payback=1,3 tahun. Hasil pendapatan ini belum termasuk hasil samping berupa pupuk cair/padat. Berdasarkan kajian teknis dan ekonomis tersebut, teknologi biogas ini layak dikembangkan dan diaplikasikan dengan skala yang lebih besar untuk menangani limbah industri pertanian.

Kata kunci: limbah industri pertanian, biogas, energi terbarukan, *zero waste*, ramah lingkungan

## PENDAHULUAN

Pengembangan agroindustri (minyak kelapa sawit, tapioka, pabrik gula, peternakan sapi, industri pengolahan tahu/tempe) harus diikuti dengan sistem penanganan limbah yang baik agar pencemaran dan kerusakan lingkungan dapat dikurangi. Pada umumnya limbah agroindustri ini masih mengandung bahan terlarut yang tinggi sehingga memiliki nilai *biological oxygen demand* (BOD) yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan penanganan limbah cair sebelum dilepas ke badan air (sungai) [2,5,7,9,10].

Penanganan limbah cair sistem kolam terdiri atas tiga tahap, yaitu pengendapan, kolam anaerobik dan kolam aerobik. Sistem penanganan ini membutuhkan lahan yang luas, biaya penanganan yang tinggi serta tidak diperoleh hasil samping. Pemanfaatan teknologi fermentasi anaerobik untuk menangani limbah cair diharapkan dapat menekan biaya pengolahan limbah. Hasil samping dari proses ini adalah berupa biogas dan pupuk. Pupuk yang dihasilkan lebih kaya kandungan nitrogen dan posfomya dibandingkan dengan kompos yang diproses secara konvensional, bebas dari bau yang tidak sedap dan parasit. Diharapkan aplikasi *zero waste* dalam kegiatan agro industri dapat memberikan dampak positif pada lingkungan hidup dan pertanian berkelanjutan [8,11,12,13].

Dengan demikian, tujuan dari pengembangan teknologi biogas secara anaerobik dengan memanfaatkan limbah peternakan sapi dan limbah agroindustri lainnya dapat memberikan acuan pada aplikasi dengan skala yang lebih besar dan penggunaan secara luas. Sehingga peningkatan nilai tambah secara ekonomi dan kualitas lingkungan hidup dapat dicapai.

### Teknologi Biogas

#### 1. Biogas

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana ( $\text{CH}_4$ ) 50 sampai 70 persen, gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) 30 sampai 40 persen, Hidrogen ( $\text{H}_2$ ) 5 sampai 10 persen dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit [1,3,4,6,14].

Biogas kira-kira memiliki berat 20 persen lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki suhu pembakaran antara 650 sampai 750°C. Biogas tidak berbau dan berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/ m<sup>3</sup> dengan efisiensi pembakaran 60 persen pada konvensional kompor biogas [1,4].

Gas metana (CH<sub>4</sub>) termasuk gas yang menimbulkan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya fenomena pemanasan global, karena gas metana memiliki dampak 21 kali lebih tinggi dibandingkan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Pengurangan gas metana secara lokal ini dapat berperan positif dalam upaya mengatasi masalah global (efek rumah kaca) yang berakibat pada perubahan iklim global.

## 2. Bakteri Metanogenik

Bakteri metanogenik atau metanogen adalah bakteri yang terdapat pada bahan-bahan organik dan menghasilkan metan dan gas-gas lainnya dalam proses keseluruhan rantai hidupnya dalam keadaan anaerobik. Sebagai organisme-organisme hidup, ada kecenderungan untuk menyukai kondisi tertentu dan peka pada iklim mikro dalam pencerna. Terdapat banyak spesies dari metanogen dan variasi sifat-sifatnya.

Perbedaan bakteri-bakteri pembentuk metan memiliki sifat-sifat fisiologi seperti bakteri pada umumnya, namun morfologi selnya heterogen. Beberapa berbentuk batang, bulat sedangkan lainnya termasuk kluster bulat disebut sarcine. Famili metanogen (bakteri metana) digolongkan menjadi 4 genus berdasarkan perbedaan-perbedaan sitologi. Bakteri berbentuk batang: (a) Tidak berspora, methanobacterium (b) berspora, methanobacillus. Bakteri berbentuk lonjong: (a) Sarcine, methanosarcina (b) Tidak termasuk group sarcinal, methanococcus [8].

Bakteri metanogenik berkembang lambat dan sensitif terhadap perubahan mendadak pada kondisi-kondisi fisik dan kimiawi. Sebagai contoh, penurunan 2 °C secara mendadak pada slurry mungkin secara signifikan berpengaruh pada pertumbuhannya dan laju produksi gas [6].

## 3. Input dan sifat-sifatnya

Beberapa bahan yang dapat terurai secara organik dapat digunakan sebagai input prosesing biodigester. Namun, alasan teknis dan ekonomis, beberapa bahan lebih dikehendaki sebagai input daripada bahan lainnya. Jika input mahal atau perlu dibeli, kemudian keuntungan ekonomis luaran seperti gas

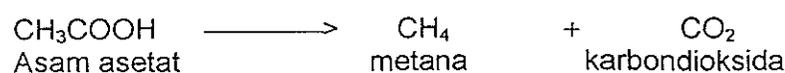
dan slurry akan rendah. Sebaliknya, jika limbah yang mudah terurai secara organik dengan mudah tersedia digunakan sebagai input, keuntungan yang didapatkan akan berlipat dua: (a) nilai ekonomis biogas dan *effluent*, dan (b) harga pencemaran lingkungan dapat dihindari dengan penguraian limbah secara organik dengan cara ditaburkan ke lahan pertanian. Salah satu dari beberapa hal yang menarik pada teknologi biogas adalah kemampuannya untuk membentuk biogas dari limbah organik yang jumlahnya berlimpah dan tersedia secara bebas.

Variasi sifat-sifat biokimia menyebabkan produksi biogas juga bervariasi. Dua atau lebih bahan-bahan dapat digunakan bersama-sama dengan beberapa persyaratan produksi gas atau pertumbuhan normal bakteri metan yang sesuai. Beberapa sifat input ini mempunyai dampak yang nyata pada tingkat produksi gas, seperti: (a) nisbah C/N, (b). pengadukan dan konsistensi input, dan (c) padatan tak stabil [1,3,6].

Berat padatan organik terbakar habis pada suhu 538°C didefinisikan sebagai padatan tak stabil. Potensi produksi biogas dari bahan-bahan organik, dapat dikalkulasi berdasarkan kandungan padatan tak stabil. Semakin tinggi kandungan padatan tak stabil dalam satu unit volume dari kotoran sapi segar akan menghasilkan produksi gas yang lebih banyak.

#### 4. Pencernaan

Pencernaan mengacu berbagai reaksi dan interaksi yang terjadi diantara bakteri metanogen dan non-metanogen dan bahan yang diumpukan kedalam pencernaan sebagai input. Ini adalah phisio-kimia yang kompleks dan proses biologis melibatkan berbagai faktor dan tahapan bentuk. Penghancuran input yang merupakan bahan organik dicapai dalam tiga tahapan, yaitu (a) hidrolisa, (b) *acidification*, dan (c) *methanization* [3,6].



Persamaan diatas menunjukkan bahwa banyak produk, hasil samping dan produk antara dihasilkan pada proses pencernaan input dalam kondisi anaerobik sebelum produk akhir (metana) diproduksi. Secara jelas, banyak faktor

yang memfasilitasi dan menghambat telah memainkan peranan dalam proses. Beberapa faktor tersebut antara lain adalah : (a) nilai pH, (b) suhu, (c) laju pengumpanan, (d) waktu retensi, (e) toxicity dan (f) *Effluent* [1,3,6].

### Manajemen Penanganan Limbah

Pengelolaan limbah dilakukan agar dampak negatifnya dapat diminimalisir dan dampak yang menguntungkan dapat dimaksimalkan dengan tetap memperhatikan keseimbangan antara sistem produksi dengan lingkungan hidup. Manajemen penanganan limbah adalah sangat penting karena beberapa alasan seperti: (a) mencegah pencemaran di udara, tanah dan air, serta (b) mengeksplorasi limbah sebagai bahan baku yang dapat mendatangkan keuntungan [8,14].

Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian telah mengembangkan unit instalasi pemroses biomasa (kotoran sapi) menjadi energi biogas yang berlokasi di Pondok Pesantren Pertanian Darul Fallah, Ciampea, Bogor. Instalasi pemroses biomasa (reaktor biogas) adalah tipe *fixed dome* yang dirancang untuk 10 ekor sapi (dengan kotoran sapi 20 kg/hari/ekor dengan *retention time* 45 hari) maka kapasitas reaktor adalah 18 m<sup>3</sup>. Skema penanganan limbah biomasa (kotoran sapi) adalah seperti pada Gambar 1.

Produksi gas metana tergantung pada kondisi input (kotoran ternak), residence time, pH, suhu dan *toxicity*. Suhu digester berkisar 25-27°C menghasilkan biogas dengan kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>) sekitar 77%. Berdasarkan perhitungan produksi biogas yaitu 6 m<sup>3</sup>/ hari (untuk rata-rata produksi biogas 30 liter gas/ kg kotoran sapi), sedangkan hasil pengukuran tanpa beban menunjukkan laju aliran gas 1,5 m<sup>3</sup>/jam dengan tekanan 490 mmH<sub>2</sub>O (lebih besar daripada perkiraan). Biogas yang dihasilkan dimanfaatkan untuk kompor gas dan lampu penerangan (Tabel 1) [13].

Analisa dampak lingkungan dari lumpur keluaran dari reaktor menunjukkan penurunan COD sebesar 90% dari kondisi bahan awal dan perbandingan BOD/COD sebesar 0,37 lebih kecil dari kondisi normal limbah cair BOD/COD=0,5. Sedangkan unsur utama N, P dan K tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan pupuk kompos (referensi). Berdasarkan hasil penelitian, hasil samping pupuk ini mengandung lebih sedikit bakteri patogen sehingga aman untuk pemupukan sayuran/ buah, terutama untuk konsumsi segar (Tabel 2) [13].

Pendapatan yang diperoleh dari instalasi biogas adalah sekitar Rp 600 000,-/ bulan bila dikonversikan dengan harga dan nilai kalori LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Dengan menggunakan parameter dan analisa kelayakan ekonomi seperti pada Tabel 3 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 digester akan kembali pada tahun ke-4 (umur ekonomi reaktor: 20 tahun). Hasil pendapatan ini belum termasuk hasil samping berupa pupuk cair/padat [13].

Uji kinerja generator listrik dengan motor bakar diesel berbahan bakar solar-biogas untuk membangkitkan daya listrik 3000 Watt menunjukkan hasil yang memuaskan, dengan konsumsi bahan bakar solar 100 ml/jam dan 0.39 m<sup>3</sup> biogas/kwh. Motor bakar ini sangat ramah lingkungan karena emisi gas buang sangat kecil dibandingkan SNI dan tingkat kebisingan 85 dB. Dalam analisa ekonomi dipergunakan data biaya daya listrik (PLN) yaitu Rp 495,-/ kwh dan waktu operasional 12 jam per hari. Pemanfaatan biogas untuk generator listrik ini secara ekonomi layak dengan BC ratio 2,17; IRR=44,96 dan *Simple Payback*=1,3 tahun (Tabel 3).

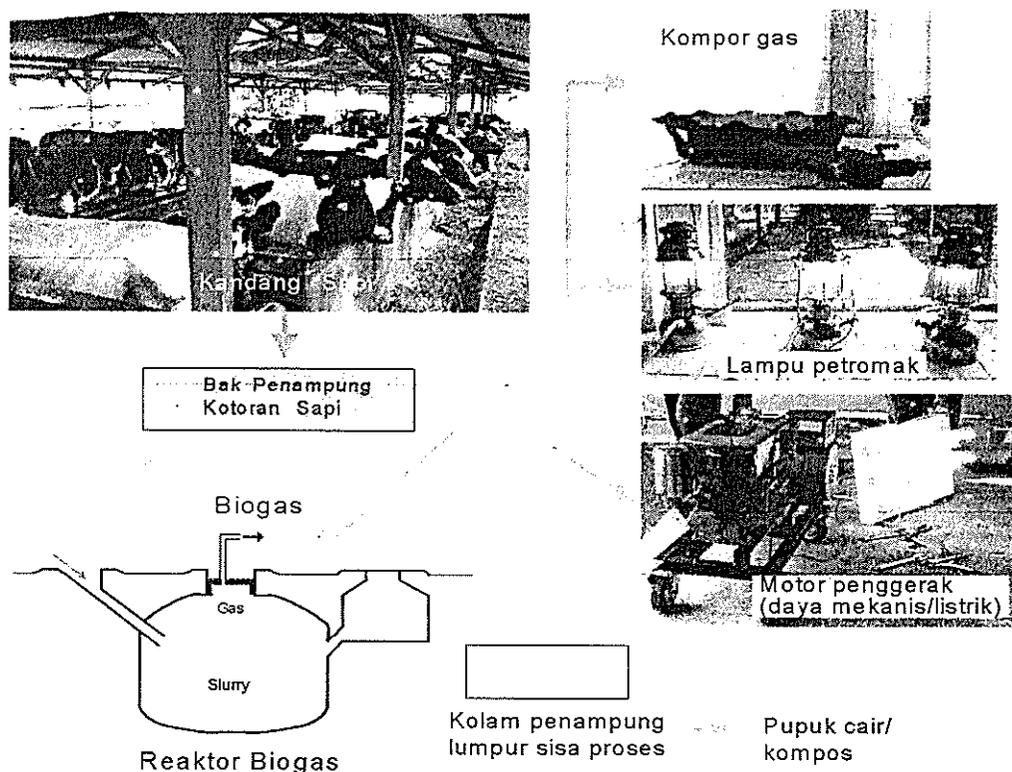
Kegiatan pengembangan teknologi biogas dengan memanfaatkan kotoran ternak terbukti layak secara teknis maupun ekonomis. Teknologi biogas ini dapat dikembangkan dan diaplikasikan untuk menangani limbah industri pertanian lainnya dengan skala yang lebih besar.

## Penutup

Pengelolaan limbah agroindustri memegang peranan penting karena dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (tanah, air, udara dan biologis). Pencemaran tersebut dapat mengganggu kualitas lingkungan hidup yang pada akhirnya dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Limbah sebaiknya dikelola untuk meminimalisir dampak negatif dan meningkatkan semaksimal mungkin keuntungan dengan tetap memperhatikan keseimbangan antara sistem produksi dengan lingkungan hidup. Pemanfaatan limbah agroindustri dengan *recycle* dan prinsip *zero waste* sehingga proses produksi dilakukan dengan mengacu wawasan lingkungan dan pertanian berkelanjutan.

Penanganan limbah dengan sistem fermentasi anaerobik menggunakan reaktor biogas memiliki beberapa keuntungan antara lain adalah dapat

mengurangi emisi gas rumah kaca, mengurangi bau yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, menghasilkan pupuk dan energi. Pemanfaatan limbah dengan cara seperti ini secara ekonomi akan sangat kompetitif seiring naiknya harga bahan bakar minyak dan pupuk anorganik. Sasaran pengembangan teknologi biogas untuk menangani limbah agroindustri diharapkan dapat memberikan nilai tambah ekonomi dan perbaikan lingkungan hidup.



Gambar 1. Skema pemanfaatan energi biogas dari kotoran sapi

Tabel 1. Pemanfaatan Biogas

Pemanfaatan Biogas	Referensi	Hasil pengukuran
- Lampu penerangan (m <sup>3</sup> / jam)	0,11 – 0,15 (penerangan setara dengan 60 watt lampu bohlam $\cong$ 100 candle power $\cong$ 620 lumen). Tekanan: 70 – 85 mmH <sub>2</sub> O	0,15 – 0,3 Tekanan = 30 – 60 mmH <sub>2</sub> O
- Kompur gas (m <sup>3</sup> / jam)	0,2 – 0,45 0,3 m <sup>3</sup> / orang/ hari Tekanan: 75 – 90 mmH <sub>2</sub> O	0,2 – 0,4 Tekanan = 60 – 85 mmH <sub>2</sub> O

- Energi listrik Algen gas generator (700 W) Algen gas generator (1500 W) Modifikasi diesel engine 6HP (3000 W)	0.5 m <sup>3</sup> biogas/kwh 0.35 m <sup>3</sup> biogas/kwh perbandingan solar : biogas = 10 : 90	0.55 m <sup>3</sup> biogas/kwh 0.40 m <sup>3</sup> biogas/kwh 100 ml solar, 0.39 m <sup>3</sup> biogas/kwh
--	---	---

Sumber: [3, 4,6,8]

Tabel 2. Hasil analisa kimia pada bahan, biogas dan lumpur keluaran dari reaktor

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 <sub>4</sub> , %	50 – 60	77,13
- CO <sub>2</sub> , %	30 – 40	20,88
- H <sub>2</sub> S, µg/ m <sup>3</sup>	< 1%	1544,46
- NH <sub>3</sub> , µg/ m <sup>3</sup>	-	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

Sumber: [3,4,6,8]

Tabel 3. Parameter dan hasil analisa kelayakan ekonomi

Parameter dan Hasil Analisa	Reaktor Biogas	Generator Listrik
<b>1. Parameter</b>		
Biaya investasi, Rp	18 448 000	7500000
Biaya operasional dan perawatan, Rp/tahun	2 767 200	1125000
Pendapatan, Rp/tahun	7 051 800	6504300
Keuntungan, Rp/tahun	4 284 600	5379300
Umur ekonomi, tahun	20	5
Produksi gas, m <sup>3</sup> /hari	6	-
Produksi gas, m <sup>3</sup> /tahun	2190	12
Suku Bunga, %/tahun	12	12
<b>2. Hasil Analisa Kelayakan Ekonomi</b>		
Net Present Worth (NPW), Rp	13 555 578	11891173
Net Present Cost (NPC), Rp	39 117 444	11555373
Net Present Revenue (NPR), Rp	52 673 023	23446546
B/C Ratio	1,35	2.03
Simple Payback, tahun	4,3	1.4
Internal Rate Return (IRR), %	23,70	43.39

Sumber: [13]

#### Daftar Pustaka

- Abdullah, K., Abdul Kohar Irwanto, Nirwan Siregar, Endah Agustina, Armansyah, H. Tambunan, M. Yasin, Edy Hartulistiyoso, Y. Aris Purwanto, 1991. *Energi dan Listrik Pertanian*, JICA-DGHE/IPB Project/ADAET, JTA-9a (132).
- Agus Kuntoro, *et al.* 1995. Sistem Pengolahan Limbah Cair Tapioka pada Lahan Sempit. Laporan penelitian TA 1994/1995. Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Departemen Perindustrian.
- Anon<sup>2</sup>. 1984. Updated Guidebook on Biogas Development - Energy Resources Development Series 1984, No. 27, United Nations, New York, USA.
- Anon<sup>3</sup>. 1997. Biogas Utilization. GTZ.  
<http://ww5.gtz.de/gate/techinfo/biogas/appldev/operation/utilizat.html>.
- Hasan, Khuzaini dan Darmawan, E. 2003. Pengolahan Limbah Etanol menjadi Biogas untuk Menunjang Program Langit Biru dan Penyediaan Energi Alternatif. Prosiding Seminal Nasional "Kejuangan" Teknik Kimia: Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam Indonesia. Yogyakarta, 28-29 Januari 2003.
- Gunnerson, C.G. and Stuckey, D.C. 1986. *Anaerobic Digestion: Principles and Practices for Biogas System*. The World bank Washington, D.C., USA.

- Gumbira Said, Sudrajat, R. dan Palupi. 1994. Studi Pembuatan Biogas dari Tandan Kosong Kelapa Sawit, Perikarp dan Lumpur Limbah Pabrik Kelapa Sawit melalui Fermentasi Media Padat. *Tek.Ling.*, Vol.1, No. 4, hal. 115-125.
- Marchaim, U. 1992. *Biogas Processes for Sustainable Development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
- Sahirman, S., Irawadi, Gumbira Said, dan Basith. 1995. Kajian Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Untuk Produksi Gas Bio. *Forum Pascasarjana* 18(1):25-34.
- Syamsuddin, T.R. dan Iskandar,H.H. 2005. Bahan Bakar Alternatif Asal Ternak. *Sinar Tani*, Edisi 21-27 Desember 2005. No. 3129 Tahun XXXVI.
- 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 1<sup>st</sup>, 2005.
- 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).
- Yadava, L.S. and P.R. Hesse . 1981. The development and Use of Biogas Technology in Rural Areas of Asia (A Status Report 1981). *Improving Soil Fertility through Organic Recycling*, FAO/ UNDP Regional Project RAS/75/004, Project Field Document No. 10.