

PENGARUH JENIS KOTORAN TERNAK SEBAGAI SUBSTRAT DAN PENAMBAHAN SERASAH DAUN JATI (*Tectona grandis*) TERHADAP PRODUKSI TOTAL VFA PADA PROSES FERMENTASI BIOGAS

EFFECT VARIOUS TYPES OF MANURE AS A SUBSTRATE AND THE ADDITION OF TEAK LEAF (*Tectona grandis*) ON THE TOTAL VFA PRODUCTION OF BIOGAS FERMENTATION

Ludfia Windyasmara*

Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo, 57521

Submitted: 19 December 2014, Accepted: 29 September 2015

INTISARI

Biogas sebagai sumber energi terbarukan, merupakan gas yang dihasilkan dari aktivitas biologi melalui proses fermentasi anaerob. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kotoran sapi dan kuda sebagai substrat dalam pembentukan VFA pada proses produksi biogas. Penelitian ini dilakukan dengan 2 perlakuan, yaitu P1 merupakan perlakuan biogas dengan substrat kotoran sapi dan P2 untuk perlakuan dengan menggunakan kotoran kuda sebagai substrat. Pada setiap perlakuan terdiri atas 3 level, yaitu dengan penambahan serasah daun jati sebanyak 0%, 5%, dan 10%. Penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dengan pengambilan sampel sebanyak 4 kali pada hari ke-10, ke-20, ke-30, dan ke-40. Parameter yang diukur adalah produksi VFA dan produksi total VFA. Rancangan percobaan penelitian ini menggunakan rancangan percobaan split-plot. Rerata total VFA pada beda perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fermentasi metanogenik di dalam biogas dengan feses sapi dan serasah daun jati (*Tectona grandis*) memiliki total VFA lebih tinggi dibandingkan biogas dengan feses kuda. Namun demikian, peningkatan penambahan level pemberian daun jati pada biogas dengan feses sapi dan feses kuda tidak meningkatkan total VFA.

(Kata kunci: Biogas, Kotoran kuda, Kotoran sapi, Serasah daun jati)

ABSTRACT

*Biogas is a renewable energy source, is a gas produced from biological activity through anaerobic fermentation. This study aims to determine the effect of cow and horse manure as a substrate on the formation of VFA in the fermentation process of biogas production. This research was conducted with two treatments, namely P1 for biogas with a substrate of cow manure and P2 for treatment using horse manure as substrate. Each treatment consisted of three levels, ie. the addition of teak leaf litter at the level of 0%, 5% and 10%. This research was performed with 3 replications and 4 times sampling were taken on day 10th, 20th, 30th and 40th days. The variables observed was the VFA production and total VFA production. The experimental design of this research used a split-plot experimental design. The average of total VFA in the treatments showed significant differences ($P < 0.05$). The results showed that the methanogenic fermentation process in the biogas using cow manure and leaf litter teak (*Tectona grandis*) had higher total VFA than biogas using horse manure. However, the increase of the level of additional teak leaves on biogas using cow manure and horse manure did not increased the total VFA.*

(Key word: Biogas, Cow manure, Horse manure, Leaf litter teak)

* Korespondensi (corresponding author):
Telp. +62 856 4345 0266
E-mail: windyasmaraudfia@gmail.com

Pendahuluan

Indonesia mempunyai potensi yang baik di bidang peternakan, namun selama ini belum dikembangkan sepenuhnya. Hal ini disebabkan sebagian besar peternakan di Indonesia adalah peternakan rakyat yang bersifat tradisional, termasuk dalam pengolahan limbahnya masih kurang tersentuh oleh teknologi. Peternak biasanya menumpuk feses sebelum membuang atau membawanya ke sawah. Perlunya pengolahan limbah yang tepat akan dapat mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan. Berdasarkan kondisi yang terjadi, maka perlu adanya teknologi tepat guna yang dapat memanfaatkan limbah ternak sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan dengan cara diolah menjadi sebuah sumber energi terbarukan yang dapat mengatasi permasalahan energi.

Widodo (2006) menyatakan bahwa kandungan nutrisi utama untuk bahan pengisi biogas adalah nitrogen, fosfor dan kalium. Kandungan nitrogen dalam bahan sebaiknya sebesar 1,45%, sedangkan fosfor dan kalium masing-masing sebesar 1,10%. Nutrien utama tersebut dapat diperoleh dari substrat kotoran ternak dan sampah daun yang dapat meningkatkan rasio C/N dalam biogas.

Feses sapi potong yang diberi pakan konsentrat mempunyai rasio C/N rendah, sedangkan feses kuda mengandung karbon yang tinggi dan nitrogen rendah (Hidayati *et al.*, 2010). Feses sapi mempunyai rasio C/N sebesar 16,6 sampai 25%, sedangkan feses kuda mempunyai rasio C/N sebesar 25% (Siallagan, 2010). Produksi gas metan sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat. Hartono (2009) menyatakan bahwa rasio C/N antara 25 sampai 30% merupakan rentang optimum untuk proses penguraian digesti anaerob. Jika rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan dikonsumsi sangat cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya. Sebagai hasilnya produksi gas akan rendah. Di lain pihak, jika rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk NH_4OH .

Musyafa (2004) menyatakan bahwa daun kering yang termasuk sampah coklat kaya akan karbon (C) yang menjadi sumber energi atau makanan untuk mikrobia. Tanda sampah daun biasanya kering, kasar, berserat dan berwarna coklat (sampah

coklat). Guguran atau serasah daun jati (*Tectona grandis*) yang lebar dan menutupi tanah melapuk secara lambat, sehingga menyulitkan tumbuhan lain untuk berkembang. Serasah daun jati dapat memicu kebakaran hutan kecil yang justru mengakibatkan proses pemurnian tegakan jati terdorong untuk berkecambah, pada saat jenis-jenis pohon lain mati. Namun demikian, jika tumpukan serasah dalam jumlah besar dapat mengakibatkan kebakaran hutan yang besar dan mematikan vegetasi dalam hutan (Perum Perhutani, 2000).

Berdasarkan tinjauan di atas, kotoran sapi dan kotoran kuda yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan di kawasan peternakan serta serasah daun jati yang dapat menimbulkan kebakaran hutan, maka diperlukan pengolahan limbah secara kimiawi dan biologis terhadap kotoran sapi, kotoran kuda serta serasah daun jati. Dengan demikian, potensi kandungan bahan organik dalam kotoran ternak dan serasah daun jati dapat dimanfaatkan dalam pembuatan biogas. Untuk itu, perlu adanya penelitian mengenai optimasi dan efisiensi penggunaan kotoran sapi dan kuda dengan penambahan daun jati (*Tectona grandis*) sebagai substrat dalam pembuatan biogas, sehingga akan diketahui proses fermentasi metanogenik dan produksi gas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kotoran sapi dan kuda sebagai substrat dengan penambahan serasah daun jati (*Tectona grandis*) terhadap kadar *volatile fatty acid* (VFA) pada proses fermentasi biogas. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan kotoran sapi dan kuda yang merupakan substrat produksi biogas sebagai salah satu upaya penanggulangan pencemaran lingkungan di kawasan peternakan dan memanfaatkan serasah daun jati (*Tectona grandis*) untuk bahan tambahan pembuatan biogas sebagai upaya penanggulangan kebakaran hutan, dan menciptakan sumber energi.

Materi dan Metode

Materi

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah feses sapi, feses kuda, dan daun jati. Feses sapi segar diperoleh dari Laboratorium Ternak Potong, Kerja, dan Kesayangan, Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada. Manajemen pakan yang diberikan adalah rumput gajah dan

kosentrat dengan perbandingan 70:30. Feses kuda segar juga diperoleh dari laboratorium yang sama. Guguran daun jati diperoleh dari Banyakan Sitimulyo Piyungan, Bantul.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15 unit biodigester, termometer, higrometer, kertas indikator universal pH 0 sampai 14 Merck untuk mengukur pH substrat, dan botol kaca 100 ml untuk lumpur endapan sebagai sampel analisis VFA. Skema rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 1.

Metode

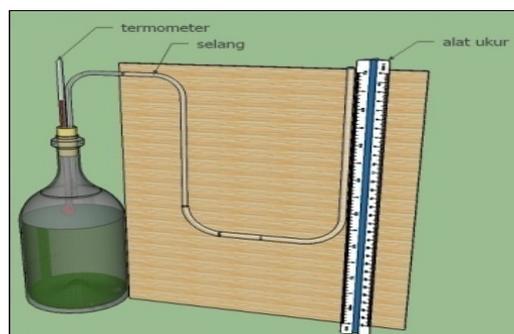
Penelitian ini berlangsung 3 tahap, yaitu: tahap pertama merupakan tahap preparasi substrat untuk pembuatan biogas, tahap kedua adalah pembuatan biogas dan tahap ketiga analisis sampel.

Preparasi substrat. Pada penelitian ini bahan isian dimasukkan ke dalam fermentor sebanyak 80% dari volume fermentor, yaitu sebanyak 2 liter. Jumlah isian bahan pengisi fermentor pada proses

fermentasi metanogenik dapat dilihat pada Tabel 1.

Pembuatan biogas. Substrat yang berupa campuran kotoran ternak dan guguran daun jati yang telah dihancurkan dicampur dengan air dengan perbandingan 1:2. Pengisian substrat ke dalam digester dilakukan satu kali pada tahap awal penelitian. Substrat daun jati dihancurkan terlebih dahulu dengan cara diremas-remas dan dicampur air agar lebih mudah hancur, dan mudah homogen dengan substrat feses ternak. Digester diletakkan pada suhu lingkungan selama 10 sampai 40 hari. Selama pembuatan biogas, dilakukan pengamatan volume gas yang terbentuk setiap pukul 10.00 WIB, selain volume dilakukan pula pengukuran sampel gas untuk analisis kadar metan. Pengambilan sampel diulang pada pada hari ke-20, 30, dan 40.

Analisis sampel. *Volatile fatty acid* dianalisis dengan menggunakan metode gas chromatography (Bachrudin, 1996). Sampel substrat yang sudah disentrifugasi dan diperoleh supernatan, dengan menggunakan



Gambar 1. Rangkaian reaktor digesti anaerobik batch I (*anaerobic digestion reactor batch I*).

Tabel 1. Jumlah isian bahan pengisi fermentor pada proses fermentasi metanogenik (*the number of field fillers fermenters in methanogenic fermentation process*)

Perlakuan (<i>treatment</i>)	Bahan isian fermentor (<i>fermentor filling materials</i>)			Volume isian fermentor (ml) (<i>fields fermentor volume (ml)</i>)
	Feses (g) (<i>manure (g)</i>)	Daun Jati (g) (<i>teak leaves (g)</i>)	Air (ml) (<i>water (ml)</i>)	
Feses sapi (%) (<i>cow manure (%)</i>)				
0	670,0	0,0	1.330	2.000
5	636,5	33,5	1.330	2.000
10	603,0	67,0	1.330	2.000
Feses kuda (%) (<i>horse manure (%)</i>)				
0	670,0	0,0	1.330	2.000
5	636,5	33,5	1.330	2.000
10	603,0	67,0	1.330	2.000

mikropipet diambil 2 µl supernatan dan diinjeksikan ke dalam kolom pada alat gas chromatography. Asam lemak yang diukur kadarnya adalah asam asetat, asam propionat, dan asam butirat.

Analisis data

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan split plot (SAS Institute, 1988) dengan mean-plot adalah jenis feses dan konsentrasi daun jati dan untuk sub-plotnya adalah lama inkubasi, yang digunakan untuk pengamatan pengukuran kadar VFA. Analisis data pada penelitian ini menggunakan uji analisis variansi pola searah Anova kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan's new Multiple Ranges Test (Astuti, 1981).

Hasil dan Pembahasan

Volatile fatty acid

Rerata VFA lumpur endapan pada tiap digester dengan perbedaan perlakuan pengamatan, tersaji pada Tabel 2. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa kandungan VFA yang meliputi asam asetat, asam propionat dan asam butirat tertinggi terdapat pada feses sapi dengan level penambahan daun jati 0%, hal ini di-karenakan ternak ruminansia mempunyai sistem pencernaan

husus menggunakan mikrokrobia yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput atau hijauan berserat tinggi. Oleh karena itu pada feses ternak ruminansia, khususnya sapi mem-punyai kandungan selulosa yang cukup tinggi (Kustiawan, 2009). Bakteri dalam biogas mengubah asam organik menjadi VFA disertai dengan terbentuknya gas (Orskov dan Ryle, 1990). Laju produksi gas semakin tinggi dan potensi terbentuknya gas juga semakin meningkat. Rerata total VFA lumpur endapan pada tiap digester dengan perbedaan perlakuan dan pengamatan, tersaji pada Tabel 3.

Rerata total VFA yang diproduksi pada penelitian menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$). Total VFA yang diproduksi menggunakan substrat sapi lebih tinggi daripada substrat feses kuda. Pemberian daun jati pada feses sapi menunjukkan penurunan total VFA dengan adanya peningkatan level daun jati, sedangkan produksi VFA pada feses kuda mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan level daun jati yang ditambahkan pada digester. Di dalam biodigester, bahan organik di-fermentasi menjadi VFA, protein mikrobia dan gas. Produksi gas tergantung pada produksi VFA terutama komposisi dan berhubungan erat dengan degradasi bahan

Tabel 2. Produksi VFA hasil fermentasi metanogenik yang menggunakan jenis kotoran ternak, konsentrasi daun jati dan waktu inkubasi yang berbeda (ml/Mol)
(VFA production of methanogenic fermentation using different manure types, concentrations and incubation times (ml/Mol))

Perlakuan (treatment)	Konsentrasi daun jati (%) (teak leaves concentration (%))	Hari (days)				Rerata (average)
		10	20	30	40	
Feses sapi (cow manure)						
Asetat (asetate)	0	32,75	29,82	17,92	2,75	20,81 ^a
	5	21,55	18,37	12,98	7,57	15,12 ^a
	10	29,03	15,37	10,77	6,47	15,41 ^a
Propionat (propionate)	0	10,67	7,96	6,18	3,61	7,10 ^{ab}
	5	8,69	6,45	4,35	3,96	5,86 ^{ab}
	10	11,86	7,24	6,74	4,44	7,57 ^{ab}
Butirat (butirate)	0	7,16	5,27	3,44	1,44	4,32 ^b
	5	5,47	4,80	3,16	1,83	3,81 ^b
	10	9,42	7,19	5,35	2,77	6,18 ^{ab}
Feses kuda (horse manure)						
Asetat (asetate)	0	19,87	11,50	4,30	1,75	9,35 ^a
	5	16,59	14,07	7,88	3,84	10,59 ^a
	10	19,88	11,44	7,48	3,64	10,61 ^{ba}
Propionat (propionate)	0	10,05	6,08	3,43	1,31	5,21 ^b
	5	7,80	5,07	3,49	1,40	4,44 ^{bc}
	10	8,19	5,85	4,04	1,71	4,94 ^{bc}
Butirat (butirate)	0	4,00	2,94	1,90	0,08	2,23 ^{bc}
	5	3,27	3,22	2,88	0,67	2,51 ^{bc}
	10	2,74	2,02	1,35	0,24	1,58 ^c

^{a,b,c,d} Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) (different superscripts at the same column indicate significant differences ($P < 0,05$)).

Tabel 3. Produksi total VFAs hasil fermentasi metanogenik yang menggunakan jenis kotoran ternak, konsentrasi daun jati dan waktu inkubasi yang berbeda (ml/Mol)
(total production of VFAs from methanogenic fermentation using different types manure, concentrations and incubation times (ml/Mol))

Substrat (substrate)	Konsentrasi daun jati (%) (teak leaves concentration (%))	Hari (days)				Rerata (average)
		10	20	30	40	
Feses sapi (cow manure)	0	50,57	43,04	27,53	7,79	32,23 ^a
	5	35,70	29,62	20,48	13,36	24,79 ^a
	10	50,30	29,80	22,87	13,67	29,16 ^a
Rerata (average)		45,52	34,15	23,62	11,60	28,73
Kuda (horse manure)	0	33,93	20,52	9,64	2,83	16,73 ^b
	5	27,67	22,37	14,26	5,92	17,55 ^b
	10	30,82	19,32	16,22	5,22	17,89 ^b
Rerata (average)		30,81	20,74	13,37	4,66	17,39
*Rerata feses sapi dan kuda (average of cow and horse manure)		38,16 ^p	27,44 ^q	18,50 ^r	8,13 ^s	23,05

^{a,b} Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) (different superscripts at the same column indicate significant differences ($P < 0,05$)).

^{p,q,r,s} Superskrip yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) (different superscripts at the same row indicate significant differences ($P < 0,05$)).

organik. Penurunan konsentrasi VFA secara parsial diduga berhubungan dengan penurunan degradasi bahan organik yang terdapat dalam isian biodigester. Tingginya produksi gas merupakan indikator terbentuknya VFA terutama asam asetat dan propionat (Menke *et al.*, 1979). Hal ini sejalan dengan produksi gas metan yang terbentuk selama penelitian. Produksi gas metan tertinggi dihasilkan oleh P4 (biogas dengan isian 100% feses kuda), namun berdasarkan data di atas bahwa P1 juga mempunyai produksi gas metan yang cukup tinggi. Dari hasil penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa produksi asam asetat adalah produksi tertinggi dari kandungan VFA yang lain yaitu asam propionate dan asam butirat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Prihartini (2007), bahwa jumlah kandungan serat yang semakin tinggi akan meningkatkan proporsi asam asetat dan semakin tinggi fraksi serat yang larut akan meningkatkan aktivitas amilolitik, sehingga menurunkan jenis mikrobia selulolitik yang dapat menurunkan degradasi serat. Peningkatan produksi asam volatil dan produksi biogas ini sesuai dengan fase pertumbuhan dari mikrobia, yaitu sesuai dengan pola pertumbuhan sigmoid. Pada awalnya mengalami *lag phase* kemudian pertumbuhan meningkat tajam saat *log phase* sampai pertumbuhan mendatar yaitu *stationery phase* dan akhirnya menurun dan mengalami kematian yaitu *death phase* (Shuler dan Kargi, 2002).

Rerata total VFA pada waktu fermentasi yang berbeda menunjukkan

perbedaan yang nyata ($P < 0,05$). Produksi substrat feses sapi dengan waktu fermentasi 10, 20, 30, dan 40 hari memiliki hasil berturut-turut: 45,52; 34,15; 23,62 dan 11,60 ml/Mol, sedangkan pada substrat feses kuda dengan waktu fermentasi 10, 20, 30 dan 40 hari memiliki hasil berturut-turut: 30,81; 20,74; 13,37; dan 4,66 ml/Mol. Lama fermentasi yang terjadi di dalam digester mengakibatkan penurunan pada total VFA dari hari ke-10 sampai ke-40. Produksi asam volatil akan menurun seiring dengan berkurangnya komponen organik lumpur endapan di dalam digester yang berpengaruh pada menurunnya produksi biogas sampai komponen organik bahan habis dan akhirnya mikrobia mengalami fase kematian. Penurunan produksi asam asetat juga disebabkan karena kondisi di dalam digester yang semakin anaerob, yaitu pada saat bahan organik mulai habis dan bakteri asetogenik menggunakan H_2 untuk memproduksi asam asetat, maka akan bersaing dengan bakteri metanogenik yang semakin berkembang yang menggunakan H_2 untuk memproduksi metan. Padahal afinitas bakteri metanogenik terhadap H_2 adalah 10 sampai 100 kali lipat dibanding bakteri asetogenik, maka tekanan parsial H_2 menurun dan menyebabkan bakteri asetogenik tidak berkembang (Lethomaki *et al.*, 2007). Proporsi asetat hasil penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan propionat, berbeda dengan hasil penelitian Kaparaju *et al.* (2007) di mana asetat lebih rendah dibandingkan propionat pada jerami padi fermentasi

dengan jamur akar putih. Produksi dan komposisi VFA dipengaruhi oleh aktivitas proteolitik dari enzim fibrolitik sehingga membebaskan N dari fraksi serat. Pengeluaran N dari fraksi akan mengurangi kekuatan ikatan lignoselulosa dan meningkatkan penetrasi enzim oleh mikrobia rumen. N bebas juga akan meningkatkan ketersediaan bakalan N untuk sintesis enzim. Produk enzim mempengaruhi degradasi serat, produk akhir fermentasi berupa VFA dan efisiensi penggunaan nutrisi.

Kesimpulan

Kandungan VFA tertinggi yang meliputi asam asetat, propionate, dan butirat dihasilkan oleh biogas dari kotoran sapi tanpa penambahan serasah daun jati. Peningkatan level daun jati tidak meningkatkan total VFA pada biogas feses sapi maupun feses kuda.

Daftar Pustaka

- Astuti, M. 1981. Rancangan Percobaan dan Analisis Statistik. Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Bachrudin, Z. 1996. Aplikasi enzim dalam bioteknologi pertanian. Buletin Peternakan Edisi Khusus: 221-223.
- Hartono, R. 2009. Produksi biogas dari jerami padi dengan penambahan kotoran kerbau. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia – SNTKI 2009 Bandung, 19-20 Oktober, 2009.
- Hidayati, Y. A., E. T. Marlina, A. K. T. Benito, dan E. Harlia. 2010. Pengaruh campuran feses sapi potong dan feses kuda pada proses pengomposan terhadap kualitas kompos. Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan 8: 299-303.
- Kaparaju, P., I. Buendia, L. Ellegaard and I. Angelidakia. 2007. Effects of Mixing on Methane Production During Thermophilic Anaerobic Digestion of Manure : Lab-scale and Pilot-scale studies. In: Bioresources Technology. Elsevier Ltd.
- Kustiawan, L. 2009. Parameter fermentasi rumen pada kerbau yang diberi pakan tunggal glirisidia, jerami jagung dan kaliandra. Seminar Nasional Kebangkitan Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Diponegoro, Semarang, 20 Mei, 2009.
- Lethomaki, A., S. Hutunen, T. M. Lehtinen and J. A. Rintala. 2007. Anaerobic digestion of grass silage in batch leach bed processes for methane production. J. Bioresources Technol. 04: 072.
- Menke, K. H., L. Raab, A. Salewaki, H. Steingass, D. Fruitz and W. Schneider. 1979. Estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. J. Agric. Sci. 93: 217-222.
- Musyafa. 2004. Peranan makrofauna tanah dalam proses dekomposisi serasah *Acacia mangium* Willd. Biodiversitas 6: 63-65.
- Perum Perhutani. 2000. Marketing and trade policy of perum perhutani. In: Proceeding of the Third Regional Seminar on Teak. Hardiyanto, Eko B. (eds). Fakultas Kehutanan UGM, Perum Perhutani, dan TEAKNET-Wilayah Asia Pasifik, Yogyakarta, July 31-August 4, 2000.
- Prihartini, I. 2007. Parameter fermentasi rumen dan produksi gas *in vitro* jerami padi hasil fermentasi inokulum lignochloritik. Laporan Penelitian, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- Ørskov, E. R. and Ryle. 1990. Energi Nutrition In Ruminants. Elsevier Applied Science. London and New York.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/ETS 9.22 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Shuler, M. L. and F. Kargi. 2002. Bioprocess Engineering. 2nd edn. Prentice-Hall, Inc., USA.
- Siallagan, R. 2010. Pengaruh Waktu Tinggal dan Komposisi Bahan Baku pada Proses Fermentasi Limbah Cair Industri Tahu terhadap Produksi Biogas. Fakultas Teknik Program Magister Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Widodo, T. 2006. Rekayasa dan pengujian reactor biogas skala kelompok tani ternak. Jurnal Engineering Pertanian 4: 1-4.