

**PENGARUH KONSENTRASI TOTAL PADATAN PADA PRODUKSI BIOGAS  
DARI LIMBAH SEKAM PADI DENGAN METODE *SOLID STATE  
ANAEROBIC DIGESTION (SS-AD)***

**Indra Hukama Ardinata<sup>\*)</sup>, Syafrudin<sup>\*\*)</sup>, Winardi Dwi Nugraha<sup>\*\*)</sup>**

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik UNDIP

Telp: (024) 76480678, Fax: (024) 76918157

email: [hukamaindra@gmail.com](mailto:hukamaindra@gmail.com)

**Abstrak**

*Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD) umumnya terjadi pada konsentrasi padat lebih tinggi dari 15%. Sebaliknya, Liquid Anaerobic Digestion (L-AD) terjadi pada kondisi dengan konsentrasi solid antara 0,5% dan 15%. Dalam penelitian ini, pengaruh konsentrasi total padatan (TS/Total Solid) untuk produksi biogas dari sekam padi dengan Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD). Skala laboratorium dari pencernaan anaerobik digunakan dalam penelitian ini dioperasikan dalam sistem batch dan pada suhu kamar. Rasio C/N yang ditetapkan sebesar 25. Jumlah total padatan (TS) bervariasi dari 17, 19, 21, dan 23%. Karena kandungan lignin tinggi, sekam padi dilakukan perlakuan pendahuluan dengan enzim dan natrium hidroksida (NaOH). Biogas yang dihasilkan diukur dengan menggunakan metode perpindahan air setiap dua hari. Hasil penelitian menunjukkan enzimatis dan natrium hidroksida pretreatment dapat meningkatkan produksi biogas bervariasi. Produksi biogas tertinggi diperoleh pada TS 23%. Produksi biogas spesifik pada TS dari 17, 19, 21 dan 23% adalah 16.074; 14.368; 11.978; dan 12.783 ml/gr TS. Produksi biogas pada (SS-AD) lebih tinggi daripada dengan kondisi (L-AD). Kebutuhan penelitian lebih lanjut untuk dipelajari adalah optimasi konsentrasi hidroksida enzim dan natrium.*

**Kata Kunci:** *Biogas, Konsentrasi Total Padatan (TS), Perlakuan Pendahuluan, Sekam Padi, Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD)*

**Abstract**

*[The Influence of Total Solid (TS) Content to Biogas Production from Rice Husk Waste During Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD)]. Solid-state anaerobic digestion (SS-AD) generally occurs at solid concentrations higher than 15%. In contrast, liquid anaerobic digestion (L-AD) handles feed stocks with solid concentrations between 0.5% and 15%. In this study, the effect of Total Solid (TS) content to biogas production from rice husk by solid state anaerobic digestion (SS-AD) was investigated. The laboratory scale of anaerobic digestions used in this experiment was operated in batch system and at room temperature. C/N ratio was set at 25. Total solid (TS) was varied from 17, 19, 21, and 23%. Due to the high lignin content, the rice husk was pretreated with enzyme and sodium hydroxide (NaOH). Biogas produced was measured by using water displacement method every two days. The result showed enzymatic and sodium hydroxide pretreatment could increase biogas production. The highest biogas production was obtained at TS 23%. Specific biogas production on TS of 17, 19, 21 and 23% were 16.074; 14.368; 11,978; and 12,783 ml/gr TS, respectively. SS-AD has TS loading of biogas production higher than liquid anaerobic digestion (L-AD). The further research need to be studied was optimization of enzyme and sodium hydroxide concentration.*

**Keywords:** *biogas production; enzymatic pretreatment; rice husk; solid state anaerobic digestion; total solid (TS).*

## PENDAHULUAN

Pemanasan global dan krisis energi menjadi isu global saat ini. Krisis energi berdampak langsung pada masyarakat yaitu tingginya harga bahan bakar yang disebabkan kebutuhan yang semakin meningkat sedangkan sumbernya semakin berkurang (Ozturk *et al.*, 2013). Kelangkaan energi terjadi karena kebutuhan BBM dan produksinya tidak seimbang. Minyak bumi sebagai bahan baku produksi BBM jumlahnya terbatas. Pada tahun 2013, cadangan minyak di Indonesia sebesar 3,692 milyar barrel dengan tingkat produksi rata-rata 804 ribu barrel per hari sedangkan sampai tahun 2013 jumlah penduduk di Indonesia tercatat sebanyak 249,9 juta orang. Pada tahun 2014, produksi minyak bumi hanya sekitar 789 ribu barrel per hari, menurun dari tahun sebelumnya. Saat ini, rata-rata kebutuhan bahan bakar minyak di Indonesia mencapai 1,5 juta barrel per hari. Dari jumlah itu, kapasitas produksi BBM di dalam negeri hanya 650 ribu barrel per hari. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015). Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Pemerintah telah menetapkan sasaran-sasaran kebijakan nasional pada tahun 2025. Salah satu energi alternatif sebagai solusi menghadapi krisis energi adalah pemanfaatan energi terbarukan.

Biomassa merupakan energi alternatif yang berharga di seluruh dunia sebagai pengganti bahan bakar fosil, karena dapat dikonversi menjadi berbagai bentuk energi yang dapat digunakan seperti panas, uap, listrik, biogas dan biofuel transportasi cair (biodiesel, etanol, dan metanol). Pengembangan teknologi biomassa menjadi biogas secara signifikan bermanfaat untuk meningkatkan ketahanan energi, mengurangi emisi gas rumah kaca dan memanfaatkan sumber daya terbarukan. Perkembangan teknologi biogas berbasis biomassa mengalami peningkatan yang pesat, sehingga perlu diteliti pengembangan produksi biomassa ke biogas dengan biaya yang terjangkau dan dapat dikomersialkan secara luas (Junfeng dan Runqing, 2003).

Bahan baku biogas dapat diperoleh dari biomassa lignoselulosa dan berbagai macam limbah organik seperti: kotoran binatang, limbah air industri dan municipal solid wastes (Tuesorn *et al.*, 2013). Ketersediaan bahan baku lignoselulosa yang melimpah di dunia membuat lignoselulosa menjadi bahan baku

yang paling banyak diminati untuk produksi biofuel. Selain faktor ketersediaan lignoselulosa di alam, kandungan karbon yang banyak terdapat di lignoselulosa menjadikan lignoselulosa sebagai sumber bahan baku yang tepat untuk produksi biogas. (Teghammar, 2013)

Lignoselulosa terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa dan hemiselulosa memiliki rantai monomer-monomer gula yang panjang dan dapat dikonversi menjadi bioenergy melalui pretreatment dan hidrolisis. Salah satu bahan baku biomassa lignoselulosa adalah limbah hasil pertanian. (Petersson *et al.*, 2007). Sekam padi merupakan limbah hasil pertanian yang melimpah di Indonesia. Hal ini terlihat dari produksi padi di Indonesia yang mencapai 69.870.950,40 ton pada tahun 2014. Jumlah tersebut merupakan produksi yang terbesar dibandingkan jenis tanaman pertanian lainnya seperti jagung dengan total produksi 18.548.872 ton, kedelai sebanyak 892.602 ton, dan kacang sebesar 664.003 ton (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2014). Padi juga merupakan makanan pokok utama dari setengah jumlah populasi masyarakat di Indonesia dan sebagian besar negara belahan dunia lainnya. Selain itu sendiri, di Jawa Tengah, tempat penelitian dari penulis sendiri potensi sekam padi juga sangatlah besar. Pada tahun 2014 sendiri menurut Badan Pusat Statistik Jawa Tengah, hasil panen padi provinsi Jawa Tengah adalah sebesar 9.648.104,45 ton. Lalu, Berdasarkan data yang dihimpun dari Direktorat Pangan dan Pertanian (2013), dapat diketahui bahwa tanaman padi menghasilkan gabah (50%) dan jerami (50%). Kemudian dari gabah dapat dihasilkan beras pecah kulit (80%) dan sekam (20%). Hal tersebut memiliki potensi yang sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai biogas. Selain itu, sekam padi sangat melimpah juga karena sukarnya untuk membusuk karena kandungan lignin yang tinggi sehingga tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme dengan mudah. Melalui perlakuan pendahuluan diharapkan dapat memecah kandungan lignin yang ada dalam sekam padi. Perlakuan pendahuluan yang dilakukan dapat berupa pretreatment kimia dan biologi (Schimpf *et al.*, 2013)

Biogas memiliki kandungan energi tinggi yang tidak kalah dari kandungan energi dalam bahan bakar fosil. Nilai kalori dari 1 m<sup>3</sup> biogas sekitar 6000 watt/jam, setara dengan setengah

liter minyak diesel. Oleh karena itu, biogas sangat cocok menggantikan minyak tanah, LPG, butana, batu bara, dan bahan bakar fosil lainnya. Biogas umumnya mengandung 55-70% metana. Semakin tinggi kandungan metana dalam bahan bakar, semakin besar kalor yang dihasilkan. Oleh karena itu, biogas juga memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Sehingga jika biogas diolah dengan benar, biogas bisa digunakan untuk menggantikan gas alam, dengan demikian jumlah gas alam bisa dihemat. (Zupančič dan Viktor, 2012).

Produksi biogas dari bahan baku lignoselulosa terdiri dari pretreatment, anaerobic hydrolysis dan produksi metana. Pretreatment dapat dilakukan untuk meningkatkan yield total metana. Pretreatment pada bahan baku lignoselulosa juga bertujuan untuk memudahkan konversi biopolymer yang terdapat di selulosa. Pretreatment yang dilakukan dapat berupa pretreatment kimia dan biologi (Schimpf *et al.*, 2013).

Biogas dari bahan baku biomassa lignoselulosa sangat tepat untuk diproduksi menggunakan SS-AD karena konsentrasi total solid pada biomassa lignoselulosa >15% dan memiliki kandungan moisture yang rendah (Brown and Li, 2013; Liew *et al.*, 2012). Selain itu, masalah yang terjadi pada L-AD seperti substrat mengapung, stratifikasi lemak dan serat tidak ditemukan pada SS-AD (Xu *et al.*, 2014). Keuntungan lain SS-AD antara lain: volume reaktor lebih kecil, kebutuhan air lebih sedikit, tidak membutuhkan pengadukan, tidak terjadi pengendapan di dasar reaktor, residu dari SS-AD dapat digunakan sebagai pupuk karena memiliki kandungan air yang rendah sehingga lebih mudah ditangani dibandingkan limbah dari L-AD (Li *et al.*, 2011b).

Produksi biogas menggunakan biomassa lignoselulosa dengan metode SS-AD harus memperhatikan konsentrasi kandungan total solid (TS). Kandungan TS akan berpengaruh terhadap kinerja proses dan jumlah biogas yang diproduksi. Kandungan TS yang semakin tinggi dapat menurunkan produksi biogas (Khalid *et al.*, 2011). Kandungan TS lebih besar dari 30% akan mengurangi produksi biogas sekitar 17% (Abbassi-Giendouz *et al.*, 2013; Fernández *et al.*, 2008).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah jenis penelitian eksperimental laboratoris. Penelitian dilakukan

di Laboratorium Pengolahan Limbah, Teknik Kimia, Universitas Diponegoro selama bulan Mei-Agustus 2016.

### Uji Kandungan TS Sekam Padi

Analisis Kandungan total padatan (total solid/TS) dengan metode standar APHA

- Cawan dikeringkan pada temperatur 103-105°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dan disimpan pada desikator sampai cawan akan digunakan.
- Berat cawan ditimbang dan dicatat.
- Sample dimasukkan ke cawan sebanyak 25-50 g dan ditimbang, kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 103-105°C selama 1 jam.
- Sample yang telah dikeringkan kemudian didinginkan pada desikator dan ditimbang sampai beratnya berkurang 4% atau 50 mg.

$$\% \text{ total solids} = \frac{(A-B) \times 100}{C-B}$$

Keterangan:

A = berat sample yang telah dikeringkan + cawan (mg)

B = berat cawan (mg)

C = berat sample basah + cawan (mg)

### Perlakuan Pendahuluan

- Alat dipersiapkan dan dirancang sesuai dengan variabel penelitian.
- Ambil sekam padi dan timbang sesuai kebutuhan. Lalu masukkan sekam padi ke dalam reaktor pada masing-masing variabel.
- Lakukan *pretreatment* kimia terlebih dahulu pada masing-masing variabel sesuai dengan Tabel 1. Kemudian diamkan selama 24 jam.
- Kemudian tambahkan HCl sebanyak 6 ml pada semua reaktor untuk menetralkan pH kembali seperti semula.
- Lalu, lakukan *pretreatment* biologi dengan menambahkan enzim microbial consortium sesuai kebutuhan pada masing-masing variabel, sesuai dengan Tabel 1.
- Untuk reaktor kontrol dengan konsentrasi TS 21%, tidak dilakukan *pretreatment* kimia maupun biologi.

**Tabel 1.** Kebutuhan Bahan *Pretreatment*

Konsentrasi	Variabel	Microbial consortium		NaOH
		Tanpa consortium	5% v/v, ml	3% (g/g ltrn)

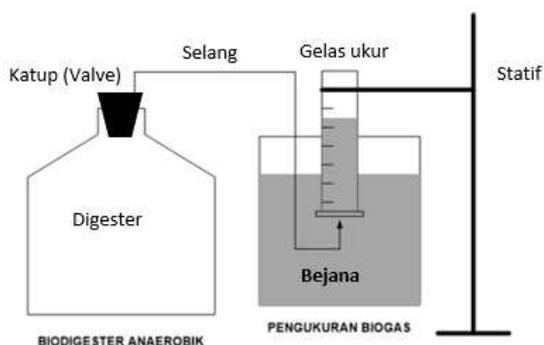
17%	1	√	-	6
	2	-	10	6
19%	3	√	-	6
	4	-	10	6
21%	5	√	-	6
	6	-	10	6
23%	7	√	-	6
	8	-	10	6
21%	Kontrol	√	-	-
	Kontrol	√	-	-

### Operasional Penelitian

- Masukkan air dan rumen sapi dimasukkan ke dalam biodigester dengan perbandingan air dengan rumen sapi ke dalam masing-masing reaktor sesuai Tabel 2.
- Masukkan urea sesuai kebutuhan sebagai pengatur rasio C:N dalam masing-masing reaktor.
- Tunggu proses fermentasi sehingga biogas terbentuk.
- Ukur volume biogas yang terbentuk setiap dua hari sekali hingga biogas tidak dihasilkan kembali selama 60 hari.

**Tabel 2. Kebutuhan Bahan Penelitian**

Konsentrasi	Variabel	Volume Air, ml	Volume rumen, ml	C/N Rasio (Keb. Urea/gram)	Konsentrasi Padatan (Kebutuhan Sekam/gram)			
					17%	19%	21%	23%
17%	1	81,07	81,07	0.43	37,8			
	2	81,07	81,07	0.43	37,8			
19%	3	78,8	78,8	0.48		42,3		
	4	78,8	78,8	0.48		42,3		
21%	5	76,6	76,6	0.53			46,7	
	6	76,6	76,6	0.53			46,7	
23%	7	74,4	74,4	0.59				51,2
	8	74,4	74,4	0.59				51,2
21%	Kontrol	76,6	76,6	0.53			46,7	
	Kontrol	76,6	76,6	0.53			46,7	



**Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

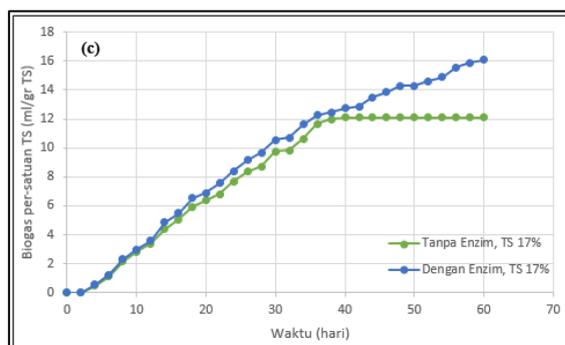
### 1. Pengaruh Perlakuan Pendahuluan

Pada penelitian ini, perlakuan pendahuluan dilakukan adalah dengan perlakuan biologi dan kimia. Perlakuan biologi dilakukan dengan menambahkan enzim microbial consortium. Sedangkan perlakuan kimia dilakukan dengan menambahkan NaOH (Natrium Hidroksida). Perlakuan pendahuluan ini dilakukan dengan tujuan agar mempercepat proses penghancuran struktur lignoselulosa yang sangat dominan pada sekam padi.

#### 1.1 Perlakuan Biologi

Perlakuan biologi dilakukan dengan menambahkan microbial consortium sebesar 5% dari total volume cairan dalam digester (200 ml), yaitu sebesar 10 ml yang dicampurkan ke dalam digester. Untuk menjadi pembanding, ada juga digester yang tidak diberi enzim tersebut. Perbandingan digester yang diberi penambahan enzim dan tidak adalah 1:1 untuk masing-masing rasio konsentrasi TS yang ada, yaitu 17%; 19%; 21%; 23%. Microbial consortium merupakan enzim yang terdiri dari atas *Streptomyces* sp., *Geobacillus* sp., dan jamur *Trichoderma*. Berikut adalah pengaruh penambahan microbial consortium terhadap produksi biogas pada limbah sekam padi.

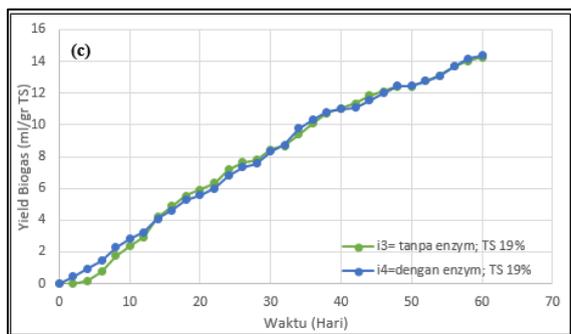
Gambar 2 menunjukkan bahwa yield biogas harian kumulatif per satuan TS rasio konsentrasi TS 17% tanpa enzim cenderung lebih rendah dibandingkan dengan rasio konsentrasi TS 17% dengan enzim. Total yield biogas kumulatif per-satuan TS pada reaktor i1 lebih rendah daripada total yield biogas kumulatif pada reaktor i2 dengan perolehan data masing-masing sebesar 12,118 ml/gr TS dan 16,074 ml/gr TS.



**Gambar 2. Yield Biogas TS 17%**

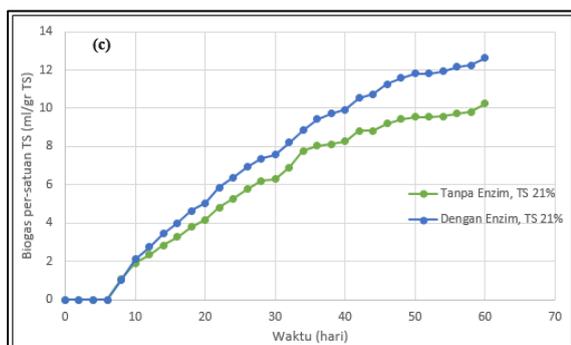
Gambar 3 menunjukkan bahwa yield biogas harian kumulatif per satuan TS rasio

konsentrasi TS 19% tanpa enzim cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan rasio konsentrasi TS 19% dengan enzim. Total yield biogas kumulatif per-satuan TS pada reaktor i3 lebih tinggi daripada total yield biogas kumulatif pada reaktor i4 dengan perolehan data masing-masing sebesar dan 14,25 ml/gr TS; dan 14,368 ml/gr TS.



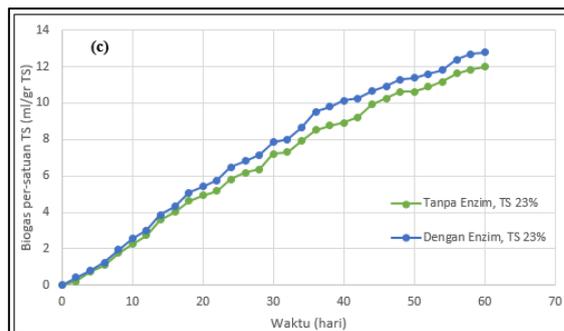
Gambar 3. Yield Biogas TS 19%

Gambar 4 menunjukkan bahwa yield biogas harian kumulatif per satuan TS rasio konsentrasi TS 21% tanpa enzim cenderung lebih rendah dibandingkan dengan rasio konsentrasi TS 21% dengan enzim. Total yield biogas kumulatif per-satuan TS pada reaktor i5 lebih rendah daripada total yield biogas kumulatif pada reaktor i6 dengan perolehan data masing-masing sebesar 12,048 ml/gr TS dan 12,619 ml/gr TS.



Gambar 4 Yield Biogas TS 21%

Gambar 5 menunjukkan bahwa yield biogas harian kumulatif per satuan TS rasio konsentrasi TS 23% tanpa enzim cenderung lebih rendah dibandingkan dengan rasio konsentrasi TS 23% dengan enzim. Total yield biogas kumulatif per-satuan TS pada reaktor i7 lebih rendah daripada total yield biogas kumulatif pada reaktor i8 dengan perolehan data masing-masing sebesar 11,978 ml/gr TS dan 12,783 ml/gr TS.



Gambar 5. Yield Biogas TS 23%

Produksi biogas dengan penambahan enzim microbial consortium cenderung lebih baik daripada tanpa dilakukan penambahan enzim tersebut. Secara keseluruhan, dapat ditarik kesimpulan bahwa yield biogas meningkat setelah dilakukan perlakuan pendahuluan dengan penambahan enzim sebesar 5% dari total larutan. Rata-rata yield biogas dengan penambahan enzim adalah sebesar 551,5 ml atau 13,931 ml/grTS, sedangkan rata-rata yield biogas tanpa penambahan enzim hanya sebesar 484,875 ml atau 12,178 ml/grTS.

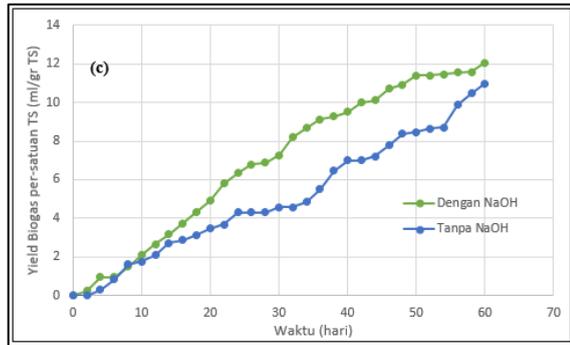
Hal ini disebabkan karena aktivitas microbial consortium yang terdiri atas *Streptomyces* sp., *Geobacillus* sp., dan jamur *Trichoderma*. Fungsi mikroorganisme diduga melakukan delignifikasi, menurunkan derajat polimerisasi selulosa, dan hidrolisis hemiselulosa. Penambahan microbial consortium mempercepat degradasi selulosa, hemiselulosa dan lignin menjadi senyawa yang dibutuhkan oleh mikroorganisme penghasil biogas, sehingga produksi biogas meningkat (Zhang *et al.*, 2011).

## 1.2 Perlakuan Kimia

Perlakuan kimia pada penelitian ini dilakukan dengan menambahkan NaOH sebesar 3% dari volume total cairan dalam digester (200 ml), yaitu sebesar 6 ml. Penambahan NaOH ini dilakukan berurutan setelah perlakuan biologi selesai dilakukan. Untuk menjadi pembanding, ada tambahandigester yang tidak diberi perlakuan kimia sebagai variabel kontrol. Pada variabel perlakuan kimia ini, rasio konsentrasi TS yang dipakai adalah 21%. Kemudian untuk pembandingnya dipakai pada reaktor i5, dimana rasio konsentrasi TSnya sama 21% dan tanpa penambahan enzim, tetapi ada penambahan NaOH.

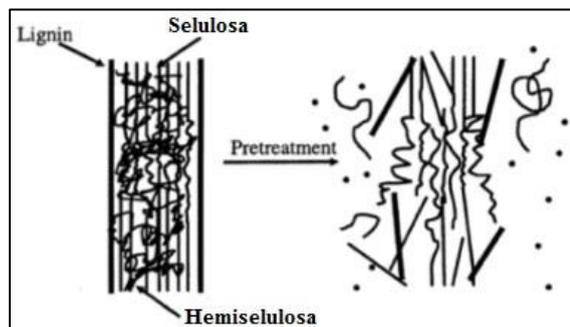
Yield biogas yang didapatkan dari reaktor dengan penambahan NaOH lebih tinggi

daripada tanpa penambahan NaOH. Seperti yang terlihat pada gambar, bahwa reaktor dengan penambahan NaOH, yield biogas yang didapatkan adalah senilai 12,047 ml/gr TS; dengan nilai kumulatif gas sebesar 546 ml. Sedang tanpa penambahan NaOH hanya sebesar 10,964 ml/gr TS; dengan nilai kumulatif biogasnya 460,5 ml.



**Gambar 6. Yield Biogas dengan NaOH**

Dari Gambar 6 didapatkan total produksi biogas dengan penambahan NaOH mencapai 546 ml atau 12,047 ml/gr TS, sedangkan tanpa penambahan NaOH hanya mencapai 460,5 ml atau 10,964 ml/gr TS. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan NaOH berpengaruh signifikan pada produksi biogas dari sekam padi, karena selisih volume kumulatif produksi biogas dengan penambahan NaOH dibandingkan dengan tidak ada penambah NaOH terlihat jauh. Pemberian NaOH dapat membantu proses penghancuran struktur lignin yang biasa disebut proses delignifikasi seperti pada Gambar 7.



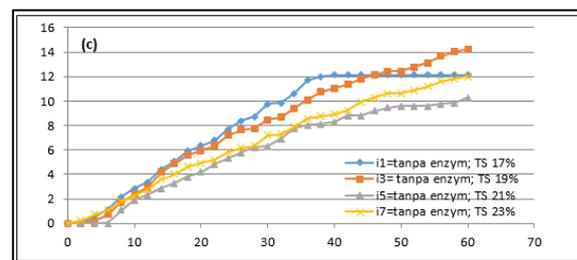
**Gambar 7. Skematik dari proses perusakan struktur lignin (Kumar *et al.*, 2009)**

Pada proses delignifikasi, sejumlah lignin akan terlarutkan. Proses delignifikasi menyebabkan kerusakan terhadap struktur lignin dan melepaskan senyawa karbohidrat. Perusakan struktur dari materi dengan kandungan lignoselulosa adalah salah satu

langkah untuk mengkonversi lignoselulosa menjadi senyawa gula. Proses yang tepat dapat mempercepat konversi lignoselulosa menjadi bahan bakar alternatif. Proses delignifikasi dipercaya sebagai proses yang potensial sebagai proses pendahuluan dalam tahap persiapan bahan baku (Zheng *et al.*, 2009).

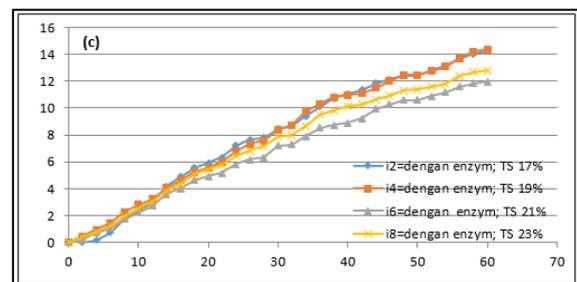
## 2. Pengaruh Konsentrasi Total Padatan (Total Solid)

Gambar 8 menunjukkan yield biogas kumulatif tiap satuan TS pada sekam padi tanpa penambahan enzym. Secara berturut-turut yield biogas per-satuan TS dengan variasi konsentrasi TS 17%, 19%, 21%, 23% adalah 12,118 ml/gr TS; 14,25 ml/gr TS; 10,25 ml/gr TS; dan 12,783 ml/gr TS.



**Gambar 7. Yield Biogas terhadap TS tanpa enzym**

Gambar 9 menunjukkan yield biogas kumulatif tiap satuan TS pada sekam padi dengan penambahan enzym. Secara berturut-turut yield biogas per-satuan TS dengan variasi konsentrasi TS 17%, 19%, 21%, 23% adalah 16,074 ml/gr TS; 14,368 ml/gr TS; 12,619 ml/gr TS; 12,783 ml/gr TS.



**Gambar 9. Yield Biogas terhadap TS tanpa enzym**

Kandungan TS 17% menghasilkan biogas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan TS yang lain, karena pada kandungan TS yang lebih tinggi memungkinkan mikroba untuk mendegradasi substrat yang lebih banyak sehingga biogas yang dihasilkan lebih tinggi. Akan tetapi, menurut (Jha *et al.*, 2013), kandungan TS yang

terlalu tinggi menyebabkan produksi asam organik pada tahap awal digestion lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan konsumsi asam organik oleh bakteri metanogen. Hal tersebut menyebabkan aktivitas bakteri metanogen terhambat dan menurunkan produksi biogas.

Pada kandungan TS yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan inhibisi pada tahap hidrolisis yang disebabkan oleh transfer massa yang terbatas antara mikroba dan bahan baku. Produk dari tahap hidrolisis telah berakumulasi di permukaan substrat karena transfer massa yang terbatas, akhirnya menghambat penyerapan enzim hidrolitik. Transfer massa yang terbatas membuat jumlah produk hidrolisis yang tersedia untuk mikroba acidogenic terbatas sehingga menurunkan jumlah produk yang dihasilkan pada tahap acidogenesis untuk dikonversi menjadi biogas pada tahap metanogenesis (Sheets *et al.*, 2015).

### 1. Laju Produksi Biogas dari Sekam Padi dengan Metode SS-AD

Mengasumsikan bahwa laju produksi biogas di dalam biodigester sebanding dengan laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme metanogenik di dalam biodigester. Maka laju produksi biogas akan mengikuti Persamaan Gompertz (Nopharatana *et al.*, 2007). Persamaan ini merupakan model matematis untuk pengamatan time series, yaitu pertumbuhan paling lambat pada saat awal dan akhir periode waktu pengamatan dan memiliki bentuk umum sebagai berikut (Adiga *et al.*, 2012). Dengan menggunakan metode regresi non linier, data yang diperoleh dari percobaan menggunakan biodigester bisa diperoleh konstanta kinetika sebagaimana tersaji pada tabel sebagai berikut.

$$P = A \cdot \exp\left\{-\exp\left[\frac{Ue}{A}(\lambda - 1) + 1\right]\right\}$$

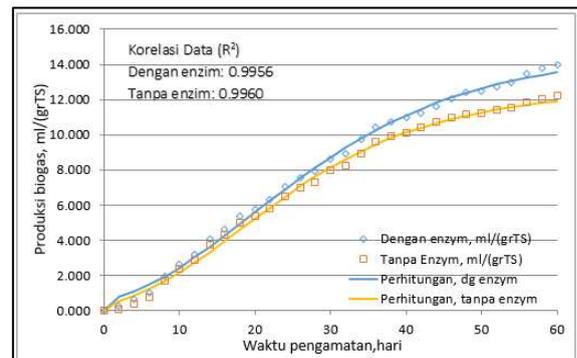
- P = produksi biogas kumulatif, liter
- A = produksi biogas maksimum, liter
- U = konstanta laju produksi biogas maksimum (liter/hari)
- $\lambda$  = lama lag phase (waktu minimum terbentuknya biogas), hari
- t = waktu kumulatif untuk produksi biogas, hari
- e = bilangan Euler (e = 2.7182...)

Tabel 3 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa perlakuan pendahuluan dengan menggunakan enzim Microbial consortium memberi pengaruh yang nyata terhadap

konstanta kinetika produksi biogas. Secara berturut-turut konstanta kinetika biogas yang terbentuk dengan diberikan perlakuan pendahuluan penambahan enzim (biologi) adalah sebagai berikut, produksi biogas harian (A), laju produksi biogas (U), dan waktu minimum terbentuknya biogas ( $\lambda$ ) adalah 12,5560 (ml/gr TS); 0,3238 (ml/gr TS.hari); dan 3,8519 hari. Sedangkan tanpa penambahan enzim didapatkan nilai secara berturut-turut sebagai berikut: 14,6996 (ml/gr TS); 0,3345 (ml/gr TS.hari); dan 3,3173 hari.

**Tabel 3.** Konstanta Kinetika pada Pengaruh Enzym terhadap Produksi Biogas

Variabel	A (ml/gr TS)	U (ml/gr TS.hari)	$\lambda$ (hari)
Tanpa Enzym	12,5560	0,3238	3,8519
Dengan Enzym	14,6996	0,3345	3,3173

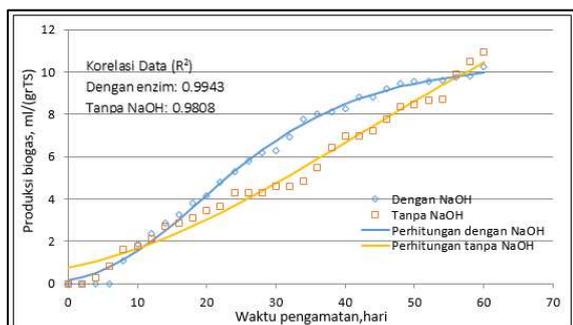


**Gambar 10.** Hubungan Antara Data Percobaan Dengan Hasil Perhitungan Pada Penelitian Pengaruh Enzym Terhadap Produksi Biogas

Tabel 4 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa perlakuan pendahuluan dengan menggunakan penambahan NaOH (kimia) memberi pengaruh yang nyata terhadap konstanta kinetika produksi biogas. Secara berturut-turut konstanta kinetika biogas yang terbentuk dengan diberikan perlakuan pendahuluan penambahan NaOH (kimia) adalah sebagai berikut, produksi biogas harian (A), laju produksi biogas (U), dan waktu minimum terbentuknya biogas ( $\lambda$ ) adalah 18,8118 (ml/gr TS); 0,1961 (ml/gr TS.hari), dan 5,9983 hari. Sedangkan tanpa penambahan enzim didapatkan nilai secara berturut-turut sebagai berikut: 10,4267 (ml/gr TS); 0,2851 (ml/gr TS.hari); dan 5,2965 hari.

**Tabel 4.** Konstanta Kinetika pada Pengaruh NaOH terhadap Produksi Biogas

Variabel	A (ml/gr TS)	U (ml/gr TS.hari)	$\lambda$ (hari)
Tanpa NaOH	18,8118	0,1961	5,9983
Dengan NaOH	10,4267	0,2851	5,2965

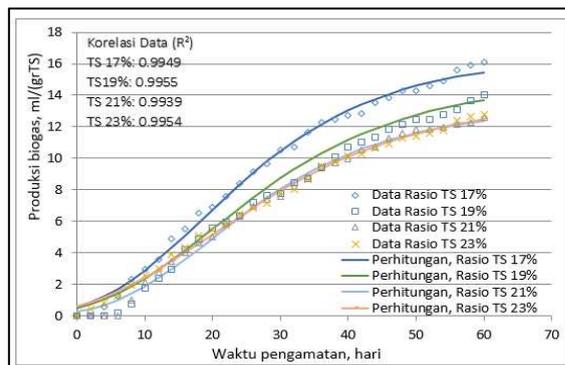


**Gambar 11.** Hubungan Antara Data Percobaan Dengan Hasil Perhitungan Pada Penelitian Pengaruh NaOH Terhadap Produksi Biogas

Tabel 5 dan Gambar 12 menunjukkan pengaruh konsentrasi total padatan (TS) dengan enzim memberi pengaruh yang nyata terhadap konstanta kinetika produksi biogas. Secara berturut-turut konstanta kinetika biogas yang terbentuk dengan perlakuan tersebut adalah sebagai berikut. Dengan (A) yaitu produksi biogas harian, (U) laju produksi biogas, dan ( $\lambda$ ) waktu minimum terbentuknya biogas. Untuk TS 17% adalah 16,400 (ml/gr TS); 0,407 (ml/gr TS.hari), dan 3,427 hari. Sedangkan TS 19% adalah 14,940 (ml/gr TS); 0,337 (ml/gr TS.hari), dan 3,619 hari. Lalu untuk TS 21% adalah 13,138 (ml/gr TS); 0,333 (ml/gr TS.hari), dan 5,253 hari. Dan untuk TS 23% 13,739 (ml/gr TS); 0,291 (ml/gr TS.hari), dan 2,259 hari.

**Tabel 5.** Konstanta Kinetika pada Pengaruh Konsentrasi Total Padatan terhadap Produksi Biogas

Variabel	A (ml/g TS)	U (ml/g TS.hari)	$\lambda$ (hari)
TS 17%	16,4000	0,4078	3,4271
TS 19%	15,7784	0,3108	2,3532
TS 21%	13,1384	0,3336	5,2535
TS 23%	13,7391	0,2915	2,2595



**Gambar 12.** Hubungan Antara Data Percobaan dan Hasil Perhitungan pada Penelitian Pengaruh Konsentrasi Total Padatan (TS) terhadap Produksi Biogas

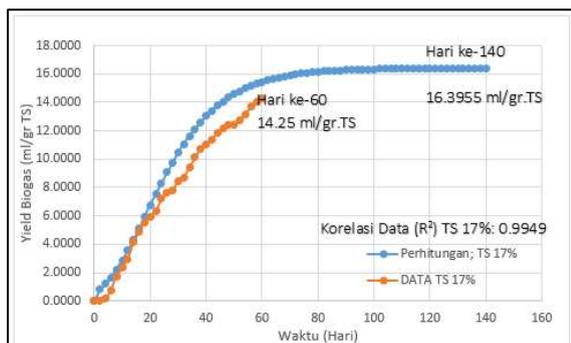
Dari data diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pada sekam padi yang dilakukan perlakuan pendahuluan dengan enzim menghasilkan yield biogas maksimum sebesar 14,6996 ml/(grTS) dengan konstanta laju produksi biogas sebesar 0,3345 ml/(grTS.hari) serta awal terbentuknya biogas pada hari ke-3,3173. Kemudian pada sekam padi yang tidak dilakukan perlakuan pendahuluan menggunakan enzim menghasilkan yield biogas maksimum sebesar 12,5560 ml/(grTS) dengan konstanta laju produksi biogas sebesar 0,3238 ml/(gTS.hari) serta awal terbentuknya biogas pada hari ke-3,8519. Hal tersebut dapat dinyatakan bahwa perlakuan pendahuluan menggunakan enzim memberikan pengaruh nyata terhadap yield biogas.

Kemudian pada perlakuan kimia, dengan penambahan NaOH bisa ditarik kesimpulan bahwa sekam padi yang dilakukan perlakuan pendahuluan dengan penambahan NaOH menghasilkan yield biogas maksimum sebesar 10,4267 ml/gr.TS dengan konstanta laju produksi biogas sebesar 0,2851 ml/gr TS.hari dan mulai terbentuk biogas mulai hari ke-5,2965. Sedangkan pada sekam padi yang tidak dilakukan perlakuan pendahuluan dengan penambahan NaOH (kimia) didapatkan yield biogas maksimum sebesar 18,8118 ml/gr.TS dengan konstantan laju produksi biogas sebesar 0,1961 dan biogas mulai terbentuk pada hari ke-5,9983.

Selanjutnya pada variasi konsentrasi total padatan (TS), pada dasarnya konsentrasi TS 17% memberikan laju produksi biogas paling tinggi dengan yield biogas maksimum sebesar 16,4000 ml/(grTS) dengan konstanta laju produksi biogas sebesar 0,4078 ml/(grTS.hari)

serta awal terbentuknya biogas pada hari ke-3,4271.

Setelah dilakukan perhitungan dengan Polymath 6.0, diketahui yield biogas maksimum yang dapat diproduksi serta dapat diketahui hari ke berapakah biogas tersebut berhenti untuk menghasilkan biogas. Berikut ini adalah grafik laju produksi biogas dengan variabel yield tertinggi yaitu pada rasio konsentrasi TS 17%.



**Gambar 13.** Data Hasil Perhitungan pada Penelitian Pengaruh Konsentrasi Total Padatan TS 17% terhadap Produksi Biogas

Dari data hasil perhitungan di atas, yield biogas maksimum pada TS 17% adalah sebesar 16,3955 ml/(grTS) dan dicapai pada hari ke-140. Nilai simpangan (Sd) dari kedua data tersebut adalah sebesar 3,63%, sehingga data yang diperoleh valid, dan bisa untuk digunakan. Namun pada hari ke-70 produksi biogas harian tidak signifikan lagi, yaitu hanya sebesar  $\pm 0,5$  ml/(grTS.hari) dan terus menurun hingga hari ke-140. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada hari ke-74 pada dasarnya produksi biogas sudah berhenti. Fakta ini dapat digunakan untuk merancang biodigester SSAD dari sekam padi secara kontinyu dengan waktu tinggal selama 74 hari. Setelah dilakukan permodelan pada rasio TS 17% dan dengan penambahan enzim, didapatkan yield biogas sebesar 16,3955 ml/grTS. Sehingga ketika terdapat limbah sekam padi sebanyak 1 Ton, dapat menghasilkan biogas sebanyak 16.395.500 ml atau 16.3955 m<sup>3</sup>. Jika dikonversi dalam bentuk energi yang lain, bahwa 1 m<sup>3</sup> biogas setara dengan 6.000 watt jika dikonversi ke dalam listrik. Apabila dimanfaatkan untuk menghidupkan lampu 100 watt selama 983,73 jam, atau menghasilkan 98,373 kWh listrik, serta masih banyak lagi pemanfaatan yang dapat dilakukan seperti pengganti minyak tanah dan sumber tenaga penggerak mesin.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlakuan pendahuluan dengan penambahan NaOH (Kimia), dan penambahan enzim microbial consortium (biologi) sangat berpengaruh pada produksi biogas dengan metode SS-AD. Hal ini bisa dilihat dari hasil yield biogasnya sebagai berikut. Dengan penambahan NaOH didapatkan yield biogas sebesar 12,046 ml/gr TS. Sedangkan tanpa penambahan NaOH hanya didapatkan yield biogas sebesar 10,96 ml/gr TS. Untuk perlakuan pendahuluan dengan penambahan enzim (biologi) didapatkan hasil sebagai berikut, secara berturut-turut dengan konsentrasi TS 17%, 19%, 21%, 23% 16,074 ml/gr TS; 14,368 ml/gr TS; 12,619 ml/gr TS; dan 12,783 ml/gr TS. Kemudian jika tanpa penambahan enzim didapatkan yield biogas berturut-turut sebesar 12,118 ml/gr TS; 14,25 ml/gr TS; 10,25 ml/gr TS; dan 11,078 ml/gr TS.
2. Konsentrasi total padatan berpengaruh besar pada produksi biogas. Yield biogas paling besar diperoleh dari konsentrasi total padatan 17% yang sebelumnya telah dilakukan perlakuan pendahuluan kimia dan biologi yaitu dengan yield biogas sebesar 16,0735 ml/gr TS. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa semakin sedikit konsentrasi total padatan semakin tinggi pula hasil yield biogasnya. Namun pada konsentrasi total padatan 23% yield biogas berangsur-angsur meningkat, jadi belum bisa ditentukan konsentrasi total padatan yang optimum dengan metode SS-AD. Sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan kondisi optimum konsentrasi total padatan pada kondisi <17% dan juga >23%.
3. Laju produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode SS-AD didapatkan hasil paling maksimal pada kondisi konsentrasi total padatan 17% yg diikuti dengan perlakuan pendahuluan kimia (NaOH), dan biologi (penambahan microbial consortium) yaitu dengan nilai sebagai berikut (A) yaitu produksi biogas harian, (U) laju produksi biogas, dan ( $\lambda$ ) waktu minimum terbentuknya biogas; 16,4006 (ml/grTS); 0,4078 (ml/gr TS.hari), dan 3,4271 hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abbassi-guendouz, A., Trably, E., Hamelin, J., Dumas, C., Steyer, J.P., Delgenès, J., Escudíé, R. 2013. *Microbial community signature of high-solid content methanogenic ecosystems*. *Bioresource Technology*, 133, 256–262
- [2] Adiga, S., Ramya, R., Shankar, B.B., Patil, J.H., Geetha, C.R. 2012. *Kinetics of Anaerobic Digestion of Water Hyacinth, Poultry Litter, Cow Manure and Primary Sludge: A Comparative Study*. *Proceeding of the 2nd International Conference on Biotechnology and Environment Management, IPCBEE vol. 42*.
- [3] Badan Pusat Statistik Indonesia., 2014. *Food Crops.*, pp.8–9. <http://www.bps.go.id/> [diakses Senin, 11 Juli 2016]
- [4] Brown, D., Li, Y. 2013. *Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production*. *Bioresource Technology*, 127, 275–280.
- [5] Fernandez, J., Pe´rez, M., Romero, L.I. 2008. *Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)*. *Bioresource Technology*, 99, 6075–6080
- [6] Jha, A.K., Li, J., Zhang, L., Ban, Q., Jin, Y. 2013. *Comparison between wet and dry anaerobic digestions of cow dung under mesophilic and thermophilic conditions*. *Advances in Water Resource and Protection*, 1(2), 28–38.
- [7] Junfeng, L., Runqing, H. 2003. *Sustainable Biomass Production For Energy In China*. *Biomass and Bioenergy Vol. 25(5):483-99*.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Dokumen Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2015-2019*.
- [9] Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., Dawson, L. 2011. *The anaerobic digestion of solid organic waste*. *Waste Management*, 31(8), 1737–44.
- [10] Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J., Stroeve, P. 2009. *Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production*. *Ind. Eng. Chem. Res.*
- [11] Li, Y., Zhu, J., Wan, C., Park, S.Y. 2011b. *Solid-state anaerobic digestion of corn stover for biogas production*. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 54(4), 1415–1421
- [12] Liew, L.N., Shi, J., Li, Y. 2012. *Methane production from solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass*. *Biomass and Bioenergy*, 46, 125–132.
- [13] Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., Zamani, A., Amiri, H., Horváth, I.S. 2014. *Enhanced solid-state biogas production from lignocellulosic biomass by organosolv pretreatment*. *BioMed Research International*, 2014, 1–6.
- [14] Nopharatana, A., Pullammanappallil, Prata C., Clarke, William P. 2007. *Kinetics and Dynamic Modelling of Batch Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste in a Stirred Reactor*. *Waste Management*, 27 (2007) 595-603
- [15] Ozturk, S., Suzdemir, A., Ulger, O. 2013. *The Real Crisis Waiting For the World: Oil Problem and Energy Security*. *Energy Economics and Policy Vol. 3:74-79*.
- [16] Petersson, A., Thomsen, M.H., Hauggaard-nielsen, H., Thomsen, A. 2007. *Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean*. *Biomass and Bioenergy*, 31, 812–819.
- [17] Schimpf, U., Hanreich, A., Mähner, P., Unmack, T., Junne, S., Renpenning, J., Lopez-ulibarri, R. 2013. *Improving the efficiency of large-scale biogas processes: pectinolytic enzymes accelerate the lignocellulose degradation*. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 4, 53–60.
- [18] Sheets, J.P., Ge, X, Li, Y. 2015. *Effect of limited air exposure and comparative performance between thermophilic and mesophilic solid-state anaerobic digestion of switchgrass*. *Bioresource Technology*, 180, 296-303.
- [19] Teghammar, A. 2013. *Biogas Production from Lignocelluloses : Evaluation*. Thesis: Chalmers University of Technology.
- [20] Xu, F., Li, Y. 2012. *Solid-state co-digestion of expired dog food and corn stover for methane production*. *Bioresource Technology*, 118, 219–226.
- [21] Zhang, Q., He, J., Tian, M., Mao, Z., Tang, L., Zhang, J. 2011. *Enhancement Of Methane Production from Cassava Residues By Biological Pretreatment Using*



- A Constructed Microbial Consortium.*  
Bioresour Technol Vol. 102:8899-906.
- [22] Zheng, Y., Pan, Z., Zhang, R. 2009.  
*Overview of biomass pretreatment for  
cellulosic ethanol production.* Int J Agric &  
Biol Eng Vol. 2 No.3.
- [23] Zupančič, G.D. and Viktor, G. 2012.  
*Anaerobic Treatment And Biogas  
Production From Organic Waste.* Institute  
for Environmental Protection and Sensors  
Slovenia.