

STUDI PENGARUH METODE L-AD DAN SS-AD TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH SEKAM PADI

Erica Suryaning Saputri ^{*)}, Syafrudin^{**)}, Winardi Dwi Nugraha^{**)}

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Suharto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275

Email: ericasuryanings@gmail.com

Abstrak

Limbah biomassa sekam padi dievaluasi untuk mengetahui pengaruh produksi yield biogas dalam keadaan LAD dan SSAD. Skala laboratorium dari pencernaan anaerobik digunakan dalam penelitian ini dioperasikan dalam sistem batch dan pada suhu kamar. Rasio C/N yang ditetapkan sebesar 25°C. Jumlah total padatan (TS) bervariasi dari 5%, 7%, 9%, 19%, 21% dan 23%. Karena kandungan lignin tinggi, sekam padi dilakukan perlakuan pendahuluan kimia menggunakan natrium hidroksida (NaOH). Biogas yang dihasilkan diukur dengan menggunakan metode perpindahan air setiap dua hari selama 60 hari. Hasil penelitian menunjukkan pretreatment natrium hidroksida dapat meningkatkan produksi biogas baik pada kondisi L-AD maupun SS-AD. Didapatkan volume produktivitas tertinggi untuk sekam padi pada rasio TS 19%, sebesar 935,5. Produksi biogas spesifik pada TS dari 5, 7, 9, 19, 21 dan 23% adalah 57; 56.64; 45.36; 24.62; 15.15; dan 12.45 ml/gr TS. Kandungan TS pada L-AD lebih tinggi daripada saat kondisi SS-AD. Penelitian lebih lanjut yang perlu dipelajari adalah hubungan produksi biogas dengan pH dalam reaktor.

Kata kunci: Biogas, Sekam Padi, Konsentrasi Total Padatan (TS), Liquid Anaerobic Digestion (L-AD), Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD)

Abstarct

[*Study of Effect Method L-AD and SS-AD on Biogas Production from Waste Rice Husk*]. The waste of rice husk were evaluated to determine the production effect of yield biogas in a state of L-AD and SS-AD. From laboratory scale anaerobic digestion is used in this study operated in batch and at room temperature. C/N ratio was set at 25°C. With a variation amount of total solid (TS) 5%, 7%, 9%, 19%, 21% and 23%. Due to high lignin content, rice husk do pretreatment with sodium hydroxide (NaOH). Biogas produced was measured by using the method of transfer of water every two days for 60 days. The results showed chemical pretreatment from sodium hydroxide can increase the production of biogas varies. Obtained volume highest productivity for a review of rice husk on ratio TS 19%, amounting to 935,5 ml. Specific biogas production in the TS of 5, 7, 9, 19, 21 and 23% is 57; 56.64; 45.36; 24.62; 15.15; and 12.45 ml / g TS. The concentration of total solid for LAD more higher than the SS-AD conditions. Further research needs to be studied is the relationship of biogas production with a pH in the reactor.

Keywords: Biogas, Rice husk, Concentration of Total Solids (TS), Liquid Anaerobic Digestion (L-AD), Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD)

PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan biomassa yang efektif untuk bahan baku pembuatan biogas karena ketersediaan yang berlimpah di alam terbuka (Al Saedi, 2008). Namun sekam padi memiliki komposisi lignoselulosa, terdiri dari tiga jenis utama dari polimer (selulosa, hemiselulosa dan lignin) yang sulit didegradasi, sehingga sering membatasi bio-degradabilitas dan akibatnya menghasilkan efisiensi biodigestion dan produksi metana rendah (Hendriks dan Zeeman, 2009). Untuk memudahkan bakteri anaerobik mendegradasi lignin dengan konsentrasi tinggi maka dibutuhkan perlakuan pendahuluan (Krátký *et al.*, 2012; Teghammar, 2014; Sari dan Budiyo, 2014). Proses pencernaan anaerobik diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan isi dari total padatan (TS) yang cair pencernaan anaerobik (L-AD) dan solid-state anaerobic digestion (SSAD) (Mirmohamadsadeghi *et al.*, 2014). Pencernaan cair anaerobik (L-AD) yang digunakan pada total kandungan solid antara 0,5 sampai 15%, sedangkan kandungan total solid >15% menggunakan proses solid-state dari pencernaan anaerobik (SS-AD) (Zhu *et al.*, 2014). Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam *anaerobic digestion* baik *liquid* maupun *solid-state* termasuk pretreatment bahan baku, rasio food/inokulum (F/I rasio), konsentrasi total padatan (TS), dan rasio karbon dan nitrogen (rasio C/N) (Li *et al.*, 2011). Untuk memperoleh perbandingan hasil berdasarkan efisiensi produktivitas antara L-AD dan SS-AD maka, sangat diperlukan penelitian dengan judul “Studi Pengaruh Metode L-AD dan SS-AD Terhadap Produksi Biogas dari Limbah Sekam Padi”.

Produksi biogas menggunakan biomassa lignoselulosa baik dengan metode L-AD maupun 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 (Li

et al., 2011). Dan 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 Desember 2016 - Maret 2017.

Uji Kandungan TS Sekam Padi

Analisis Kandungan total padatan (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.

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

Keterangan:

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

B = berat cawan (mg)

C = berat sample basah + cawan (mg)

Perlakuan Pendahuluan

- Alat dirancang sesuai dengan variabel penelitian,
- Sekam padi timbang sesuai kebutuhan sesuai dengan Tabel 1.,
- Lakukan pretreatment kimia terlebih dahulu dengan menambahkan NaOH kemudian diamkan selama 24 jam, lalu

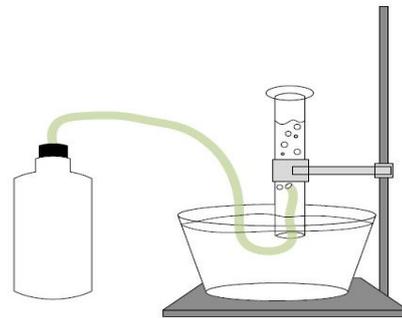
saring dan cuci sekam padi untuk menetralkan pH,

- Dimasukkan substrat ke dalam reaktor dan dimasukkan bahan lainnya sesuai kebutuhan pada masing-masing variabel, sesuai dengan Tabel 2.,
- Untuk reaktor kontrol dengan konsentrasi TS 7% (L-AD) dan konsentrasi TS 21% (SS-AD), substrat tidak dilakukan pretreatment kimia.

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.



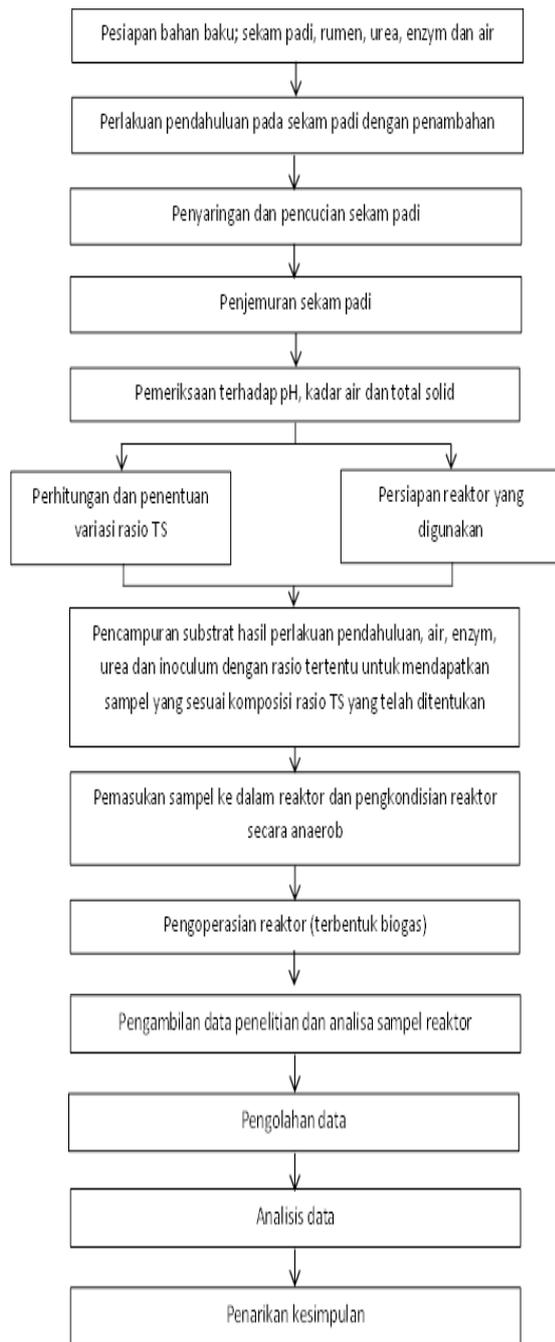
Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Tabel 1. Kebutuhan Bahan Penelitian

Konsentrasi TS	NaOH 3% (g/g lrtm)	Volume air, ml	Volume rumen, ml	C/N Rasio (Keb. Urea/gram)	Konsentrasi Padatan (Kebutuhan Sekam/gram)						
					LAD			SSAD			
					5%	7%	9%	19%	21%	23%	
5%	6	94,43	94,43	0,13	11,14						
7%	6	92,20	92,20	0,18		15,59					
9%	6	89,98	89,98	0,23			20,04				
19%	6	78.84	78.84	0,48				42,32			
21%	6	76.61	76.61	0,53					46,77		
23%	6	74.39	74.39	0,59							51,22

Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

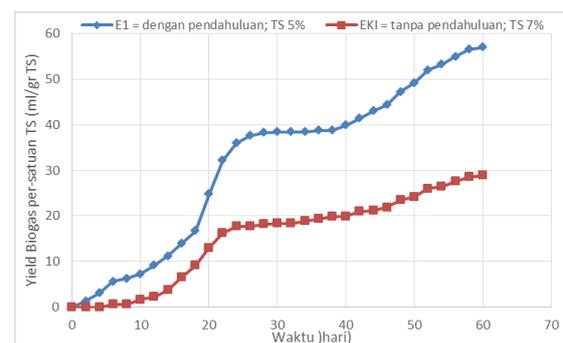
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Perlakuan Pendahuluan

Pada penelitian ini, perlakuan pendahuluan dilakukan adalah dengan perlakuan kimia. Perlakuan kimia dilakukan dengan menambahkan NaOH (natrium hidroksida) dengan tujuan mempercepat pendegradasian kandungan lignoselulosa dan

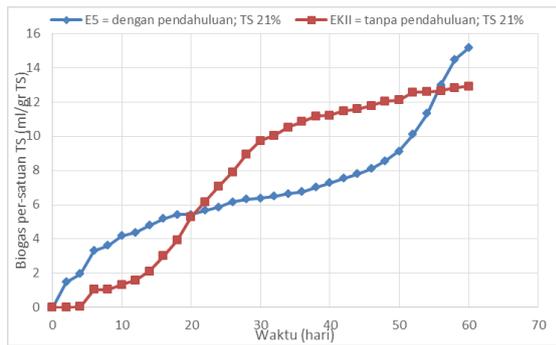
memperbanyak *yield* biogas (Chandra *et al.*, 2012). Perlakuan kimia pada penelitian ini dilakukan dengan menambahkan NaOH sebesar 3% dari volume total cairan dalam digester (200 ml), yaitu sebesar 6 ml. Untuk menjadi pembanding, ada tambahan digester yang tidak diberi perlakuan kimia sebagai variabel kontrol. Pada variabel perlakuan kimia ini, rasio konsentrasi TS yang dipakai adalah 7% dan 21%. Kemudian untuk pembandingnya dengan rasio konsentrasi TS sama yaitu 7% dan 21%

tanpa penambahan NaOH, yang terletak pada reaktor EKI dan EKII. *Yield* biogas yang didapatkan dari reaktor dengan penambahan NaOH lebih tinggi daripada tanpa penambahan NaOH, yang akan dijelaskan pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Yield biogas per satuan TS pada rasio konsentrasi 7% dengan/tanpa pendahuluan

Dari Gambar 2. didapatkan total produksi biogas dengan penambahan NaOH mencapai dengan rasio konsentrasi TS 7%, *yield* biogas kumulatif yang didapatkan adalah sebesar 793 ml atau senilai 56,64 ml/gr TS, sedangkan nilai kumulatif biogas tanpa penambahan NaOH pada rasio konsentrasi TS 7% hanya sebesar 404,5 ml atau senilai 28,89 ml/gr TS.



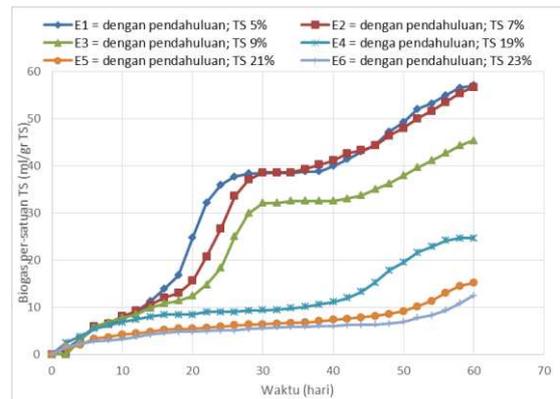
Gambar 3. Yield biogas per satuan TS pada rasio konsentrasi 21% dengan/tanpa pendahuluan

Pada Gambar 3. menjelaskan pada rasio konsentrasi TS 21% didapatkan yield biogas kumulatif sebesar 636,5 ml atau senilai 15,16 ml/gr TS dan sebagai pembandingan yaitu rasio konsentrasi TS 21% tanpa penambahan NaOH mendapatkan nilai kumulatif biogas hanya sebesar 542,5 ml atau senilai dengan 12,92 ml/gr TS.

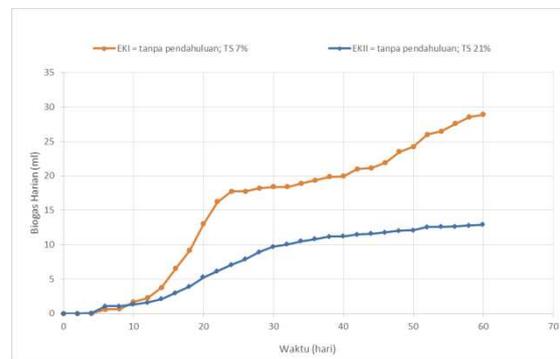
2. Pengaruh Konsentrasi Total Padatan (Total Solid)

Pada Gambar 4 menunjukkan yield biogas kumulatif tiap satuan TS pada sekam padi dengan penambahan NaOH. Secara berturut-turut yield biogas per-satuan TS dengan variasi konsentrasi TS 5%, 7%, 9%, 19%, 21% dan 23% adalah 57 ml/gr TS; 56,64 ml/gr TS; 45,36 ml/gr TS; 24,62 ml/gr TS; 15,16 ml/gr TS; dan 12,45 ml/gr TS.

Sedangkan pada Gambar 5. menunjukkan yield biogas kumulatif tiap satuan TS pada sekam padi tanpa pendahuluan dengan variasi konsentrasi TS. Secara berturut-turut yield biogas per-satuan TS tanpa pendahuluan dengan variasi rasio konsentrasi TS 7% dan 21% adalah 28,89 ml/gr TS dan 12,92 ml/gr TS. Nilai yield biogas kumulatif per satuan TS tertinggi adalah sekam padi tanpa pendahuluan dengan rasio konsentrasi TS 7%, yang lebih tinggi 15,97 ml/gr TS atau dua kali lebih besar daripada sekam padi tanpa pendahuluan dengan rasio konsentrasi TS 21%.



Gambar 4. Yield biogas kumulatif per satuan TS dengan penambahan NaOH



Gambar 5. Yield biogas kumulatif per satuan TS tanpa pendahuluan

Kandungan TS 5% dengan perlakuan pendahuluan menghasilkan biogas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan TS yang lain pada kondisi L-AD dan kandungan TS 19% dengan perlakuan pendahuluan lebih tinggi dibandingkan kandungan TS yang lain pada kondisi SS-AD. Menurut Brown and Li (2012) kandungan pada TS yang lebih tinggi memiliki efek minimal pada efisiensi TS dan penurunan dalam produksi biogas sehingga dalam penelitian ini situasi L-AD lebih menguntungkan karena *yield* biogas kumulatif per TS akan semakin tinggi jika jumlah padatannya sedikit. Jika antara kandungan TS 5% dan kandungan TS 19% dibandingkan maka lebih tinggi *yield* biogas pada kandungan TS 5%, karena pada kandungan TS yang terlalu tinggi 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).

3. Laju Produksi Biogas dari Sekam Padi

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 :

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

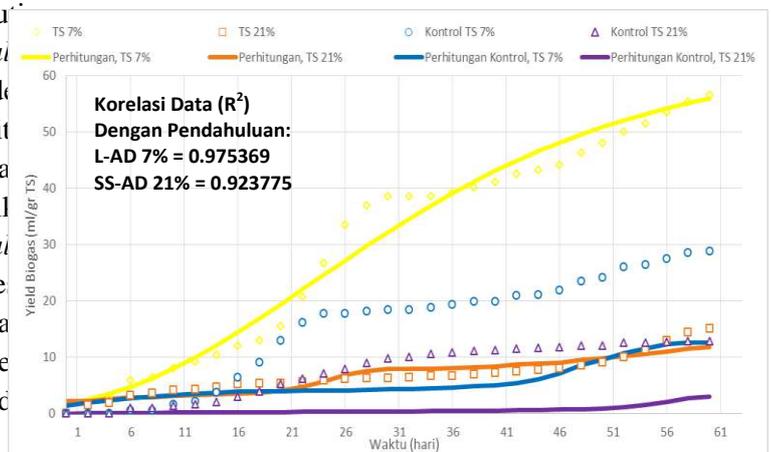
Keterangan :

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

Pada Tabel 3 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan perlakuan pendahuluan menggunakan penambahan NaOH memberi pengaruh yang efisien terhadap produksi biogas, secara berturut-turut konstanta kinetika biogas yang terbentuk dengan diberikan perlakuan pendahuluan penambahan NaOH (kimia) adalah sebagai berikut :

Tabel 3
Konstanta Kinetika pada Pengaruh Pendahuluan terhadap Produksi Biogas Metode L-AD dan SS-AD

Variabel	A (ml/gr TS)	U (ml/gr TS.hari)	λ (hari)
Dengan pendahuluan; TS 7%	63,62472	1,303298	5,076153
Dengan pendahuluan; TS 21%	54,78709	0,257652	11,90406
Tanpa pendahuluan; TS 7%	36,9748	0,619209	4,141138
Tanpa pendahuluan; TS 21%	13,18256	0,463663	8,786238



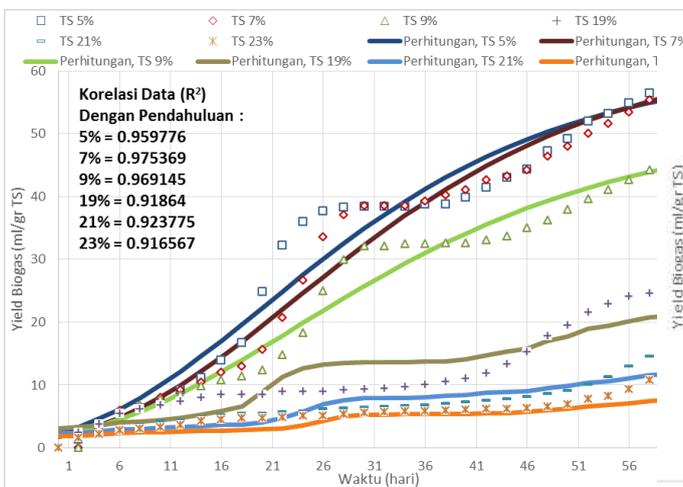
Gambar 6. Hubungan Antara Data Percobaan Dengan Hasil Perhitungan Pada Penelitian Pengaruh Perlakuan Pendahuluan Terhadap Produksi Biogas

Pada Tabel 4 dan Gambar 7 menunjukkan pengaruh konsentrasi total padatan (TS) dengan penambahan NaOH yang memberi pengaruh signifikan 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 (λ) waktu minimum terbentuknya biogas. Untuk TS 5% adalah 61,26661 (ml/gr TS); 1,320577 (ml/gr TS.hari); dan 3,117642 hari. Sedangkan TS 7% adalah 63,62472 (ml/gr TS); 1,303298 (ml/gr TS.hari); dan 5,076153 hari. Lalu untuk TS 9% adalah 51,70581 (ml/gr TS); 0,992509 (ml/gr TS.hari); dan 3,942701 hari. Dan untuk TS 19% 66,73804 (ml/gr TS); 0,421644 (ml/gr TS.hari), dan

7,214215 hari. Untuk TS 21% adalah 54,78709 (ml/gr TS); 0,257652 (ml/gr TS.hari), dan 11,90406 hari. Terakhir untuk TS 23% adalah 909,9525 (ml/gr TS); 1,878493 (ml/gr TS.hari), dan 145,7466 hari.

Tabel 4
Konstanta Kinetika pada Pengaruh
Konsentrasi Total Padatan terhadap
Produksi Biogas

Variabel	A (ml/g TS)	U (ml/g TS.hari)	Λ (hari)
TS 5%	61,26661	1,320577	3,117642
TS 7%	63,62472	1,303298	5,076153
TS 9%	51,70581	0,992509	3,942701
TS 19%	66,73804	0,421644	7,214215
TS 21%	54,78709	0,257652	11,90406
TS 23%	909,9525	1,878493	145,7466

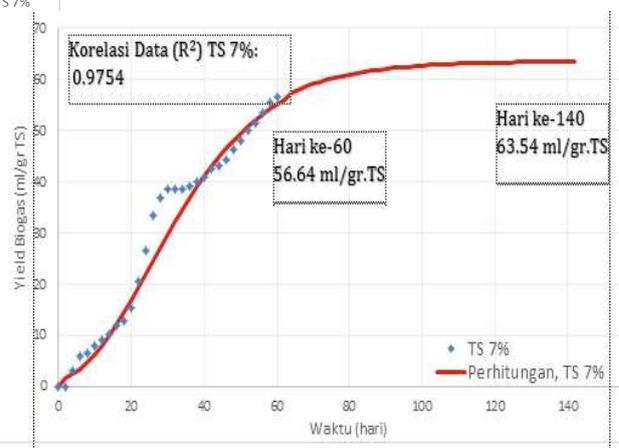


Gambar 7 Hubungan Antara Data Percobaan dan Hasil Perhitungan pada Penelitian Pengaruh Konsentrasi Total Padatan (TS) terhadap Produksi Biogas

Kesimpulan yang didapat berdasarkan data di atas yaitu sekam padi yang dilakukan perlakuan pendahuluan dengan penambahan NaOH menghasilkan *yield* biogas maksimum sebesar 63,625 ml/(grTS) dengan konstanta laju produksi biogas sebesar 1,303 ml/(grTS.hari) serta awal terbentuknya biogas

pada hari ke-5,076. Pada sekam padi yang tidak dilakukan perlakuan pendahuluan menggunakan NaOH menghasilkan *yield* biogas maksimum sebesar 36,975 ml/(grTS) dengan konstanta laju produksi biogas sebesar 0.619 ml/(gTS.hari) serta awal terbentuknya biogas pada hari ke-4,141. Hal tersebut dapat dinyatakan bahwa perlakuan pendahuluan dengan penambahan NaOH memberikan pengaruh signifikan terhadap produksi biogas pada sekam padi.

Selanjutnya pada Gambar 8 menjelaskan laju produksi biogas pada variasi konsentrasi total padatan (TS) berdasarkan perhitungan laju produksi biogas, konsentrasi TS 7% 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.



Gambar 8 Data Hasil Perhitungan pada Penelitian Pengaruh Konsentrasi Total Padatan TS 7% terhadap Produksi Biogas

Setelah dilakukan permodelan yang dijelaskan pada data hasil perhitungan di atas, rasio TS 7% dengan penambahan NaOH didapatkan *yield* biogas maksimum sebesar 63,54 ml/(grTS) dan dicapai pada hari ke-140. Namun, pada hari ke-76 produksi biogas harian tidak signifikan lagi, yaitu hanya sebesar $\pm 0,38$ ml/gr.TS.hari dengan *yield*

biogas sebesar 60,38 ml/gr.TS. Produksi biogas cenderung terus menurun hingga hari ke-140. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada hari ke-76 pada dasarnya produksi biogas sudah berhenti. Fakta ini dapat digunakan untuk merancang *biodigester* L-AD dari sekam padi secara kontinyu dengan waktu tinggal selama 76 hari.

Sehingga dapat dilakukan perhitungan terhadap pemanfaatan dari limbah sekam padi terhadap produktivitas biogas seperti berikut.

$$\text{Yield biogas} = 63,54 \text{ ml}/(\text{grTS})$$

Jika terdapat limbah sekam padi sebanyak 1 Ton maka ;

$$\begin{aligned} \text{Yield biogas yang dihasilkan} \\ &= 63,54 \text{ ml}/(\text{grTS}) \times 1.000.000 \text{ gr}/\text{ton} \\ &= 63.540.000 \text{ ml} \\ &= 63,54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka dapat dicari volume reaktor untuk 1 m³ biogas dari sekam padi,

$$\begin{aligned} \text{kebutuhan sekam padi} \\ &= \frac{\text{yield biogas yang dihasilkan}}{\text{yield biogas}} \\ &= \frac{1.000.000 \text{ ml}}{63,54 \text{ ml}/\text{grTS}} = 15.738 \text{ gr} = 15,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat padatan} \\ &= \frac{\text{kebutuhan sekam padi}}{(100/\text{kadar padatan dalam sekam})} \\ &= \frac{15.738 \text{ gr}}{(100/89,8)} = 14.133 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{volume reaktor} &= \frac{\text{berat padatan}}{\text{variabel total padatan}} \\ &= \frac{14.133 \text{ gr}}{0,07} = 202.000 \text{ ml} = \end{aligned}$$

$$202 \text{ liter} = 0,2 \text{ m}^3$$

Diketahui 1 m³ biogas setara dengan 4,7 kWh (Suriawiria, 2005), jika dimisalkan 1 rumah memerlukan listrik 450 watt maka didapatkan waktu beroperasi sebesar;

$$t = \frac{4,700 \text{ kWh}}{0,45 \text{ kW}} = 10 \text{ jam}$$

Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 27 tahun 2014 dan Nomor 19 tahun 2013 menetapkan harga tegangan listrik dari biomassa bertegangan rendah sebesar 1150,-

/kWh x F. Dimana F adalah faktor insentif berdasarkan wilayah dimana pembangkit tersebut terpasang, dengan perolehan pada Pulau Jawa F = 1.

Maka jika sebuah rumah menggunakan listrik dari biomassa selama 1 bulan membutuhkan biaya sebesar,

$$30 \times 10 \text{ h} \times 0,45 \text{ kWh} \times 1150 \times 1 = 155.250,-$$

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut :

- 1) Dengan adanya perlakuan pendahuluan penambahan NaOH (Kimia) sangat berpengaruh pada produksi biogas baik dengan metode L-AD maupun SS-AD.
- 2) Konsentrasi total padatan berpengaruh besar pada produksi biogas. *Yield* biogas paling besar diperoleh dari konsentrasi total padatan 5% yang sebelumnya telah dilakukan perlakuan pendahuluan kimia yaitu dengan *yield* biogas sebesar 57 ml/gr TS. Secara berturut-turut hasil konsentrasi TS 5%, 7%, 9%, 19%, 21%, dan 23% adalah 57 ml/gr TS; 56,64 ml/gr TS; 45,36 ml/gr TS; 24,62 ml/gr TS; 15,15 ml/gr TS dan 12,45 ml/gr TS.
- 3) Laju produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode L-AD didapatkan hasil paling maksimal pada kondisi konsentrasi total padatan 7% yang telah ditambahkan dengan perlakuan pendahuluan kimia (NaOH), yaitu dengan nilai sebagai berikut (A) yaitu produksi biogas harian, (U) laju produksi biogas, dan (λ) waktu minimum terbentuknya biogas; 63,54 ml/(grTS) ; 1,303298 (ml/gr TS.hari), dan 5,0762 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Saedi, Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., *et al.* 2008. *Biogas*. Denmark.

- [2] Hendriks, A.T.W.M., Zeeman, G. 2009. *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology*, 100, 10–18.
- [3] Krátký, L., Jirout, T., Nalezenc, J. 2012. Lab-scale Technology for Biogas Production from Lignocellulose Wastes Biomass size reduction. *Acta Polytechnica*, 52(3), 54–59.
- [4] Sari, F. dan Budiyono, B. (2014). Enhanced biogas production from rice straw with various pretreatment : a review. *Waste Technology*, 2(1), 17-25.
- [5] 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.
- [6] Zhu, J., Zheng, Y., Xu, F., Li, Y. 2014. Solid-state anaerobic co-digestion of hay and soybean processing waste for biogas production. *Bioresource Technology*, 154, 240–247.
- [7] Li, Y., Park, S.Y., Zhu, J. 2011a. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organik waste. *Renewable and Sustainable Energi Reviews*, 15(1), 821–826.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.*
- [12] Chandra, R., Takeuchi, H., Hasegawa, T., & Kumar, R. 2012. Hydrothermal pretreatment of rice straw biomass : a potential and promising method for enhanced methane production. *J Appl Energi*, 94:129-40.
- [13] Sheets, J.P., Ge, X, Li, Y. 2015. *Effect of limited air exposure and comparative performance between thermophilic and mesophilic solid-state anerobic digestion of switchgrass. Bioresource Technology*, 180, 296-303.