

# Degradasi Substrat *Volatile Solid* pada Produksi Biogas dari Limbah Pembuatan Tahu dan Kotoran Sapi

Budi Nining Widarti, Siti Syamsiah\*, Panut Mulyono  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Yogyakarta

## Abstract

Waste from tofu production and cow dung are potential organic materials for biogas production based on the content of volatile solid. This study aims to determine the optimal content of volatile solid in a mixture of tofu production waste-cow dung and to obtain the kinetic parameters of the degradation of volatile solid to form biogas.

A mixture at certain composition is put into digester. To obtain anaerobic condition, N<sub>2</sub> gas is flown into the digester, and then the digester is sealed. The mixture is incubated in a water bath at a temperature of 35°C for 56 days. Biogas volume and pH are measured every day. Methane, volatile fatty acids and volatile solid are analyzed every 7 days. Carbohydrates, proteins and fats in the slurry are analyzed three times during the production of biogas.

The results showed that digester with 12% volatile solid produces the highest biogas yield of 89.522 mL/g volatile solid, with the highest methane concentration 14.68%. Kinetics model of degradation of *volatile solid* can be approached by a first order reaction model.

**Keyword:** waste of tofu production, cow dung, volatile solid, biogas.

## Abstrak

Limbah pembuatan tahu dan kotoran sapi merupakan bahan organik potensial untuk produksi biogas berdasarkan kandungan *volatile solid*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan *volatile solid* optimal dari campuran limbah pembuatan tahu dan kotoran sapi dan untuk memperoleh parameter kinetika degradasi *volatile solid* untuk pembentukan biogas.

Campuran dengan komposisi tertentu dimasukkan ke dalam digester. Untuk mencapai kondisi anaerob, gas N<sub>2</sub> dialirkan ke dalam digester, kemudian digester ditutup rapat. Campuran diinkubasi di dalam *water bath* pada suhu 35°C selama 56 hari. Volume biogas dan pH diukur setiap hari. Metana, *volatile fatty acid* dan *volatile solid* dianalisis setiap 7 hari. Karbohidrat, protein dan lemak dalam *slurry* dianalisis tiga kali selama proses produksi biogas.

Hasil penelitian menunjukkan digester dengan kandungan *volatile solid* 12% menghasilkan *yield* biogas tertinggi yaitu sebesar 89,522 mL/g *volatile solid* dengan konsentrasi metana tertinggi 14,68%. Model kinetika degradasi *volatile solid* dapat didekati dengan model *first order reaction*.

**Kata kunci:** Limbah pembuatan tahu, kotoran sapi, *volatile solid*, biogas.

## Pendahuluan

Industri tahu telah berkembang secara turun temurun di berbagai wilayah Indonesia pada skala mikro dengan proses produksi secara tradisional. Pembuatan tahu selain menghasilkan produk utama berupa tahu, juga menghasilkan ampas tahu dan limbah cair (Said dan Wahjono, 1999). Berdasarkan analisis pendahuluan diketahui bahwa limbah cair tahu mempunyai kandungan air sebesar 99,21%, abu 0,11%, lemak 0,02%, lemak 0,18% dan karbohidrat 0,49%. Sementara itu, ampas tahu mempunyai kandungan air 82,69%, abu 0,55%, lemak 0,62%, protein 2,42% dan karbohidrat 13,71%.

Masyarakat pedesaan pada umumnya memelihara ternak sapi. Selain menghasilkan daging, kegiatan ternak sapi juga menghasilkan kotoran sapi. Kotoran sapi mempunyai kandungan bahan organik dengan rasio C/N yang tinggi. Keberadaan bahan organik dalam limbah tahu dan kotoran sapi dapat dimanfaatkan untuk pengembangan biogas sebagai energi alternatif untuk industri kecil menengah.

Penelitian tentang pemanfaatan limbah pembuatan tahu dan kotoran sapi telah dilakukan (Wagiman dan Suryandono, 2006; Wagiman, 2006; Margono, 2001; Mayasari, dkk., 2010). Namun, pada umumnya hanya memberikan informasi kemampuan bahan baku dalam menghasilkan metana. Belum ada penelitian

\* Alamat korespondensi: ssyamsiah@chemeng.ugm.ac.id

tentang kandungan bahan organik dalam limbah pabrik tahu dan kotoran sapi yang berperan dalam pembentukan biogas. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kandungan *volatile solid* (VS) dalam bahan limbah yang potensial dalam menghasilkan biogas dan mengetahui kandungan substrat dalam yang terurai menjadi biogas melalui analisis kandungan karbohidrat, protein dan lemak.

Pada proses degradasi bahan organik secara anaerobik pengendali proses terletak pada tahap hidrolisis, karena tahap hidrolisis lebih lambat dibanding dengan tahap proses lain. Laju hidrolisis karbohidrat dalam kondisi anaerob umumnya lebih cepat dibanding hidrolisis protein dan lemak. Laju hidrolisis lemak nilai  $k = 0,005-0,010$ /hari, protein nilai  $k = 0,015-0,075$ /hari dan karbohidrat nilai  $k = 0,025-0,0200$ /hari (Alvares dkk., 2000).

Penggunaan substrat untuk pembentukan biogas dapat didekati dengan model *first order reaction* seperti terlihat dalam persamaan di bawah ini (Herawati, 2010):

$$\frac{dC}{dt} = -kC \tag{1}$$

$$\ln (C_0/C_t) = kt \tag{2}$$

dimana C adalah konsentrasi substrat VS (mg/L), k adalah konstanta kecepatan degradasi (1/hari),  $C_0$  adalah konsentrasi substrat VS awal (mg/L),  $C_t$  adalah konsentrasi substrat VS pada waktu t (mg/L) dan t adalah waktu degradasi (hari).

Berdasarkan persamaan (2) nilai k dapat ditentukan secara grafis bila konsentrasi VS dalam substrat setiap saat dapat diketahui.

### Metode Penelitian

#### Bahan Penelitian

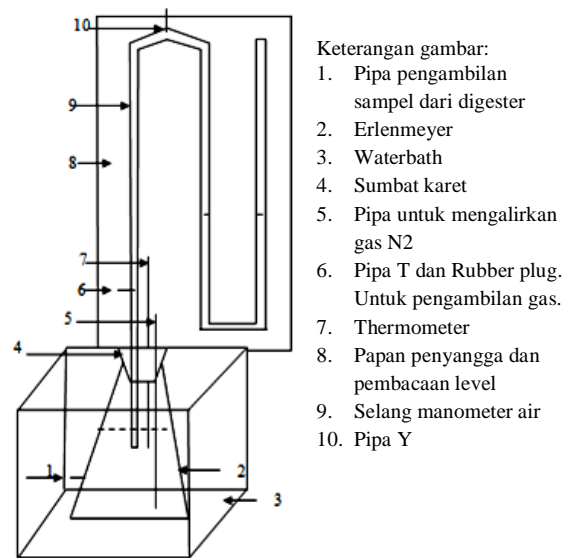
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: ampas tahu, limbah cair tahu, dan kotoran sapi yang memiliki sifat seperti yang tercantum dalam Tabel 1.

**Tabel 1. Karakteristik bahan**

Bahan	Volatile solid (%)	Lemak (%)	Protein (%)	Karbohidrat (%)	Rasio C/N	pH
Ampas tahu	28,72	0,62	2,43	25,88	14,21	5,7
Limbah cair tahu	0,63	0,01	0,18	0,49	2,91	4
Kotoran sapi	20,7	1,14	0,19	2,01	59,05	7

### Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Keterangan gambar:

1. Pipa pengambilan sampel dari digester
2. Erlenmeyer
3. Waterbath
4. Sumbat karet
5. Pipa untuk mengalirkan gas N2
6. Pipa T dan Rubber plug. Untuk pengambilan gas.
7. Thermometer
8. Papan penyangga dan pembacaan level
9. Selang manometer air
10. Pipa Y

**Gambar 1. Rangkaian Alat Pembuatan Biogas**

### Pelaksanaan Penelitian

Parameter yang dipelajari adalah kandungan VS dan pengaruh adanya ampas tahu. Percobaan dilakukan dengan memasukkan campuran limbah cair tahu, ampas tahu dan kotoran sapi dengan komposisi tertentu sehingga menghasilkan rasio C/N = 28,7. Selain itu, dimasukkan pula inokulum dan air ke dalam digester sehingga volume totalnya 800 ml. Nilai pH awal campuran diukur dengan kertas lakmus. Campuran diberi N<sub>2</sub> supaya kondisi anaerob tercapai, kemudian digester ditutup rapat dan diinkubasi di dalam *water bath* pada suhu 35°C selama 56 hari. Volume biogas dan pH diukur setiap hari. Sampel biogas diambil menggunakan *syringe gas*, kemudian dilakukan analisis dengan kromatografi gas Shimadzu GC 14B. Sampel *slurry* diambil setiap 7 hari sekali untuk menentukan nilai VS dan *volatile fatty acid* (VFA) mulai hari ke-7 sampai hari ke-56. Analisis *volatile fatty acid* dengan cara sampel cair disentrifugasi dengan kecepatan 300 rpm kemudian cairan bening diinjeksi ke kromatografi gas Shimadzu GC 8A. Analisis protein, lemak dan karbohidrat pada hari pertama, hari ke-28 dan hari ke-56 dengan metode proximate. Berat masing-masing bahan untuk setiap digester sehingga didapatkan VS sebesar 6%, 9% dan 12% serta untuk kontrol sebesar 9 % disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Komposisi Setiap Digester**

No	% VS	Komposisi					Volume Total (mL)	Kode
		LCT (mL)	AT (g)	KS (g)	In (mL)	Air (mL)		
1	6	80	80	100	80	460	800	S6
2	9	110	110	150	80	350	800	S9
3	12	150	150	200	80	220	800	S12
4	9	130	130	170	0	370	800	K1
5	9	390	0	340	0	70	800	K2
6	0	0	0	0	800	0	800	K3

Keterangan: VS = *Volatile Solid*; LCT = Limbah Cair Tahu; AT = Ampas Tahu; KS = Kotoran Sapi; In = Inokulum

**Hasil dan pembahasan**

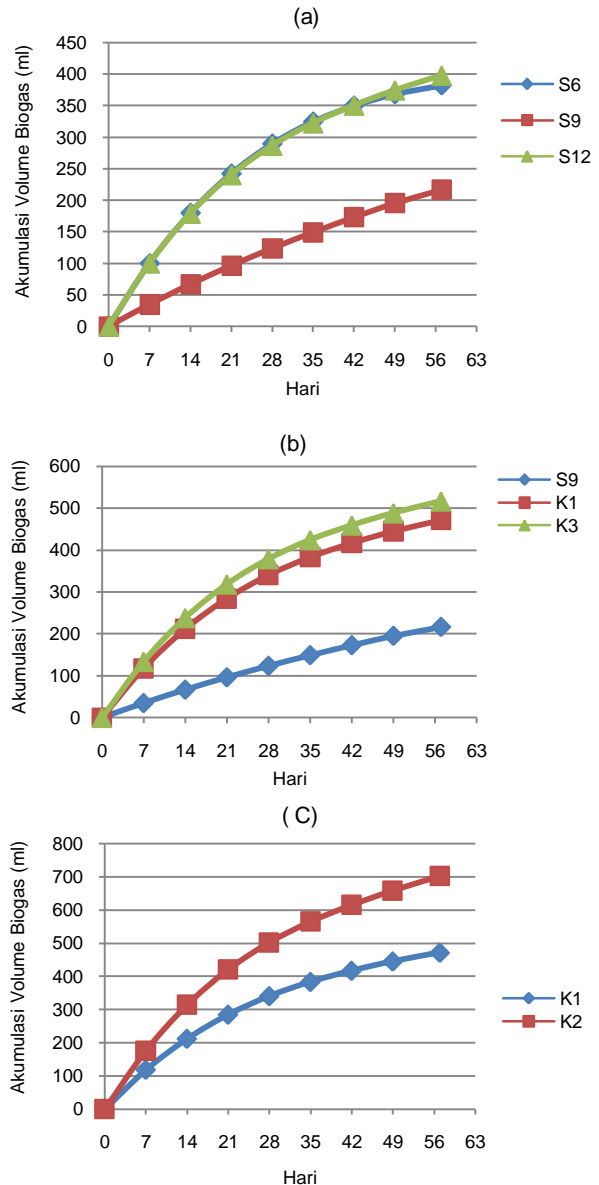
**Pengaruh *volatile solid* terhadap akumulasi volume biogas**

Pengaruh kandungan *volatile solid* terhadap akumulasi biogas ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 (a) menunjukkan akumulasi volume biogas S12 (sebesar 397,77 mL) tertinggi dibandingkan S6 (sebesar 382,14 mL) dan S9 (sebesar 216,36 mL), Dalam hal ini biogas yang dihasilkan sebanding dengan kandungan VS yang ada dalam bahan baku biogas.

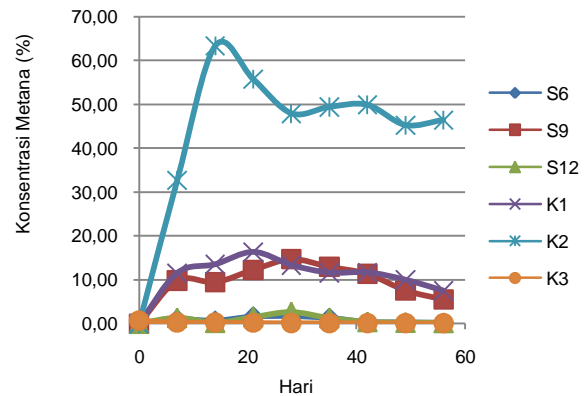
Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Amelia (2010) yang menyatakan bahwa bahan yang mengandung VS yang lebih tinggi akan menghasilkan biogas dalam jumlah yang lebih banyak. Pengaruh keberadaan inokulum ditunjukkan pada Gambar 2(b). Pada akhir proses akumulasi volum biogas pada K3 sebesar 516,32 ml, pada K1 471,13 ml, dan pada S9 216,36 ml. Gambar 2(c) menunjukkan bahwa pada akhir proses K2 menghasilkan akumulasi volume biogas 702,24 ml, lebih banyak dibandingkan dengan K1 (471,13 ml). Degradasi ampas tahu menyebabkan akumulasi asam sehingga nilai pH mencapai 5, yang menyebabkan bakteri tidak mampu hidup untuk mencerna makanan. Ini menyebabkan proses produksi biogas terhambat.

**Pengaruh substrat VS terhadap pembentukan metana**

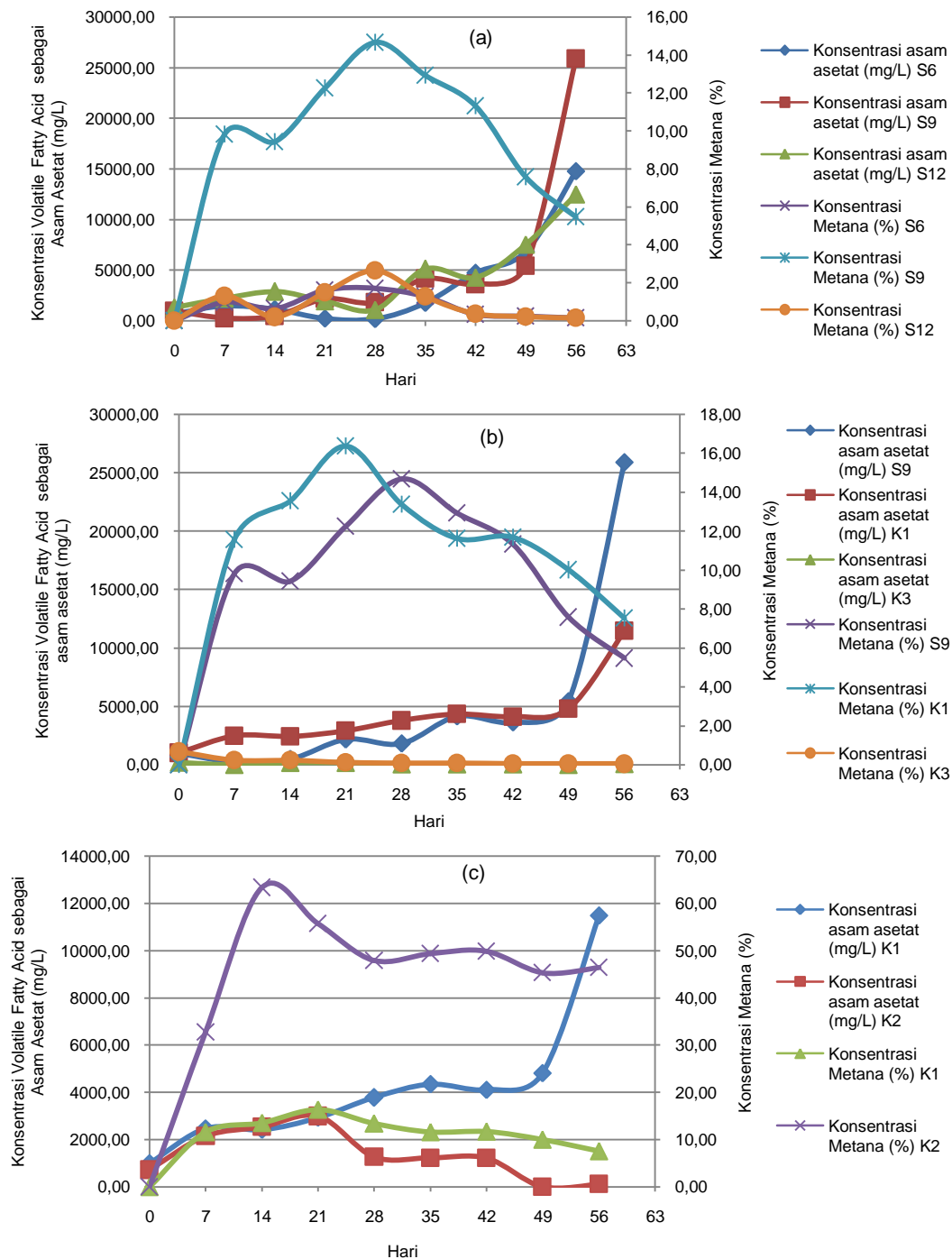
Pengaruh kandungan VS terhadap pembentukan metana disajikan dalam Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan kecenderungan konsentrasi metana pada S6, S9, S12, dan K1 semakin meningkat dengan berjalannya waktu sampai mencapai konsentrasi tertinggi. Setelah konsentrasi tertinggi tercapai, maka konsentrasi metana semakin menurun. Pada digester K3 menunjukkan kecenderungan konsentrasi metana yang semakin menurun. Digester K2 tidak menggunakan ampas tahu mampu menghasilkan konsentrasi metana tertinggi sebesar 63,38%.



**Gambar 2. Pengaruh Kandungan *Volatile Solid* terhadap Akumulasi Volume Biogas, (a) Digester S6, S9 dan S12, (b) Digester S9, K1 dan K3, (c) Digester K1 dan K2.**



**Gambar 3. Pengaruh Kandungan *Volatile Solid* terhadap Pembentukan Metana**



Gambar 3. Hubungan Volatile Fatty Acid dan Konsentrasi Metana dari Setiap Kandungan Volatile Solid, (a) Digester S6, S9, dan S12, (b) Digester S9, K1 dan K3, (c) Digester K1 dan K2.

**Hubungan volatile fatty acid dan konsentrasi metana**

Hubungan VFA sebagai asam asetat dan metana yang dihasilkan dari setiap kandungan volatile solid yang akan digunakan ditunjukkan dalam Gambar 4.

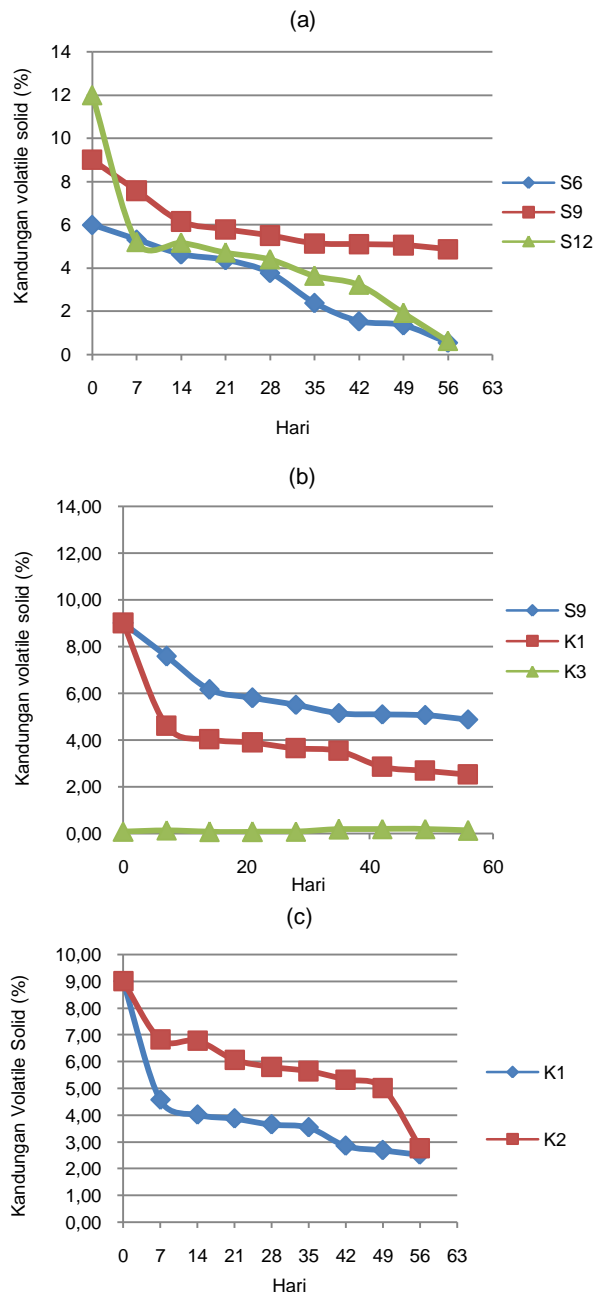
Gambar 3(a) dan 3(b) menunjukkan bahwa pada hari ke-7 sampai dengan hari ke-28 terdapat kecenderungan kenaikan konsentrasi metana. Namun setelah hari ke-28 sampai dengan hari ke-

56 konsentrasi asam asetat yang dihasilkan semakin bertambah dan menyebabkan suasana asam (pH rendah) pada slurry yang tidak cocok untuk perkembangan bakteri metanogen. Hal ini menyebabkan konsentrasi metana yang dihasilkan semakin menurun.

Pada gambar 3(c) terlihat bahwa pada digester K2 terdapat kecenderungan peningkatan konsentrasi asam asetat yang diikuti peningkatan konsentrasi metana dari hari ke-7 sampai dengan hari ke-21, Perubahan konsentrasi asam asetat ini

diikuti dengan perubahan konsentrasi metana. Konsentrasi metana tertinggi terjadi pada hari ke-14. Setelah hari ke-21 sampai hari ke-56 terjadi penurunan konsentrasi asam asetat sedikit demi sedikit yang digunakan sebagai substrat oleh bakteri metanogen untuk memproduksi metana. Hal ini menyebabkan digester K2 menghasilkan metana dengan konsentrasi tinggi.

### Perubahan *volatile solid* dan komponen bahan organik terdegradasi



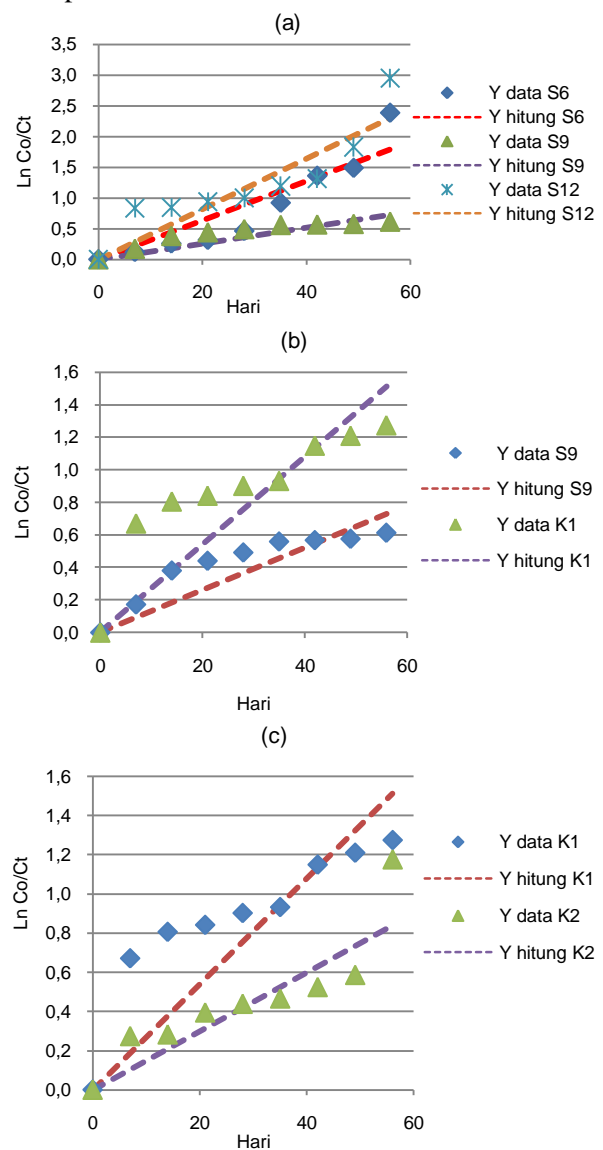
**Gambar 4.** Pola perubahan kandungan *volatile solid*, (a) Digester S6, S9 dan S12, (b) Digester S9, K1 dan K3, (c) Digester K1 dan K2.

Pola perubahan kandungan *volatile solid* disajikan dalam Gambar 4. Pada gambar 4 (a),

(b) dan (c) terlihat bahwa kandungan VS cenderung semakin turun terhadap waktu. Namun dari penelitian degradasi karbohidrat, lemak dan protein yang ada dalam substrat tidak dapat diambil kesimpulan bahwa karbohidrat lebih cepat didegradasi dibandingkan lemak dan protein.

### Kinetika degradasi substrat *volatile solid*

Nilai konstanta ( $k$ ) degradasi substrat *volatile solid* dihitung berdasarkan persamaan (2) dengan membuat kurva hubungan  $\ln(C_0/C_t)$  vs waktu. Dalam hal ini digunakan metode *least square* sehingga diperoleh nilai *sum square of errors* terkecil antara data dan hasil hitungan. Tangen arah dan garis lurus hasil hitungan yang terbentuk merupakan nilai  $k$ .



**Gambar 5.** Hubungan antara  $\ln(C_0/C_t)$  data dan  $\ln(C_0/C_t)$  hasil hitung terhadap waktu pada berbagai kandungan *volatile solid*: (a) S6, S9 dan S12, (b) S9, K1 dan K3, (c) K1 dan K2.

Hasil perhitungan dengan pendekatan model *first order reaction* menunjukkan bahwa tetapan degradasi substrat (k) untuk S6, S9, S12, K1 dan K2 masing-masing adalah 0,032; 0,013, 0,041; 0,027; dan 0,015 /hari. Sementara, pada digester K3 nilai tetapan degradasi k relatif sangat kecil

### Kesimpulan

1. *Yield* biogas tertinggi diperoleh pada digester S12 sebesar 89,522 mL/g *Volatile Solid* dengan konsentrasi metana tertinggi 14,68%, tetapan degradasi substrat (k) adalah 0,041/hari dan produksi biogas K2 tanpa ampas tahu *yield* biogas diperoleh sebesar 43,249 mL/g VS dengan konsentrasi metana tertinggi 63,38%, tetapan degradasi substrat (k) adalah 0,015/ hari.
2. Penggunaan ampas tahu menghambat proses pembentukan metana. Asam asetat, asam propionate dan asam butirat pada S6, S9, S12 dan K1 mempunyai kecenderungan semakin meningkat jumlahnya dari awal proses sampai hari ke-56. Keempat digester menggunakan ampas tahu berturut-turut sebesar 80 g, 110 g, 150 g dan 130 g, kemungkinan karena terurainya karbohidrat ampas tahu yang berupa serat membutuhkan waktu yang lama sampai waktu berakhirnya pengamatan keempat digester masih dalam tahap asetogenesis.

### Daftar Pustaka

- Herawati, D. A., 2010. Pembuatan Biogas Dari Jerami Padi Dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara Batch, Thesis, Teknik Kimia, UGM, Yogyakarta.
- Margono, 2001. Kinetika Proses Degradasi Anaerobik Campuran Kompos Dan Limbah Cair Tahu secara Batch, Tesis, Teknik Kimia, UGM, Yogyakarta.
- Mayasari, H. D., Rifanto, I.M., Aini, L.N., dan Ariyanto, M. R., 2010. Pembuatan Biodigester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku, Tugas Akhir, Teknik Kimia, Undip. Semarang.
- Said, N. I., dan Wahjono, H. D., 1999. Teknologi Pengolahan Limbah Tahu-Tempe Dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob, BPPT, Jakarta.
- Wagiman, 2006. Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan Reactor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), Prosiding Seminar Nasional Energi Hayati sebagai Solusi Krisis Energi : Peluang dan Tantangannya di Indonesia, Surakarta.
- Wagiman dan Suryandono, 2006. A Tofu Wastewater Treatment With A Combination Of Anaerobic Baffled Reactor And Activated Sludge system, Majalah Ilmu dan Teknologi Pertanian, XVI.
- Wahyuni, S., 2010. Biogas, Penebar Swadaya, Jakarta.