

BIOGAS FROM SOLID WASTE OF TOFU PRODUCTION AND COW MANURE MIXTURE: COMPOSITION EFFECT

Lailan Ni'mah¹

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl Jend. A. Yani Km. 35,5 Banjarbaru Kalimantan Selatan 70714
Email: lailan.nimah@gmail.com*

Abstract

The demand of conventional energy (fossil fuel) is increasing as the human population growth. The fuel from petroleum is the energy source from fossil fuel which is un-renewable, the price is also tend to be more expensive due to the absence of demand and supply balance. The fuel crisis indicate that the fossil fuel belong to Indonesia is decreasing. The limited of fossil fuel lead to the need to the development of renewable energy and energy conservation. One of the alternative energy is biogas which can be produced from solid waste of tofu production (SWTP). Tofu production waste has high acidity so that it needs a buffer in biogas production. One of the buffer which can be utilized is cow manure.

The experiment was done in a batch anaerobic reactor. As many as 800 ml of sample was entered to the reactor with the capacity of 1 L, then incubated in an anaerobic condition in the room at the temperature of 25-30°C within 30 days. There are 8 variation apply in this research, they are KS:KT=100:0,75:25, 50:50,25:75 and 0:100 at VS of 3%, and KS:AT 50:50 at VS of 2%,4% and 5%. The measured parameter is the biogas volume, methane concentration, carbon dioxide concentration, the ratio of C vs N, total solid (TS) and volatile solid content (VS), volatile fatty acid (VFA), pH and temperature. The gas volume measurement was done every day using gasholder while methane concentration was measured by gas chromatography (GC).

Research results shows that the composition of cow manure and SWTP at VS of 3% KS:AT = 50:50 shows the highest methane concentration. Optimal retention time to increase the production of biogas is start 14-28 days with the improvement methane concentration is 68,98% at 21st day.

Keywords : solid waste of tofu production, cow manure, biogas, methane gas

Pendahuluan

Konsumsi bahan bakar konvensional (minyak bumi) terus menaik sejalan dengan bertambahnya populasi penduduk dunia. Bahan bakar yang berasal dari minyak bumi tersebut adalah sumber energi fosil yang tidak dapat diperbarui, demikian pula harganya cenderung mahal karena tidak ada keseimbangan permintaan (*demand*) dan penawaran (*supply*). Krisis bahan bakar minyak telah memberikan tanda bahwa cadangan energi fosil yang dimiliki Indonesia sudah menipis. Terbatasnya sumber energi fosil menyebabkan perlunya pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah biogas.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses peruraian bahan organik oleh aktivitas bakteri fermentatif, bakteri asetogen dan bakteri metanogen. Biogas memiliki kandungan nilai energi tinggi yang tidak kalah dari kandungan nilai energi bahan fosil. Oleh karena itu, biogas sangat cocok menggantikan minyak tanah, LPG, dan bahan bakar fosil lainnya [1]. Biogas memiliki kandungan energi tinggi yang tidak kalah dari kandungan energi dari bahan fosil. Nilai kalori dari 1 m³ biogas setara dengan 0,6-0,8 liter minyak tanah. Untuk menghasilkan listrik 1 kwh dibutuhkan 0,62-1 m³ biogas yang setara dengan 0,52 liter minyak solar. Oleh karena itu, biogas sangat cocok menggantikan minyak tanah, LPG, dan bahan bakar fosil lainnya [1]. Bahan baku biogas adalah bahan non-fosil, umumnya adalah biomass yang mengandung bahan organik yang tersedia sangat melimpah di Indonesia, diantaranya adalah limbah dari industri makanan (limbah industri tahu seperti ampas tahu) dan limbah peternakan.

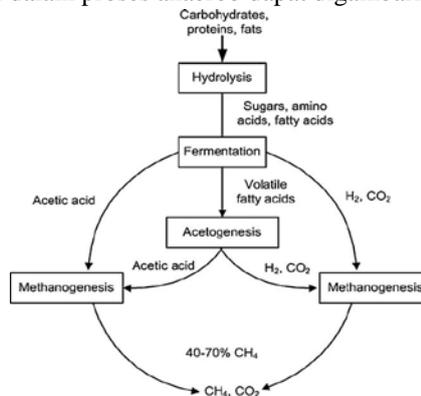
Industri tahu merupakan salah satu jenis industri yang bergerak pada industri makanan yang memiliki kandungan protein dengan bahan dasar kacang kedelai (*Glycine spp*) yang sangat akrab khususnya bagi masyarakat Indonesia dan bahkan Asia umumnya. Sebagian besar produk tahu di Indonesia dihasilkan oleh industri skala kecil yang kebanyakan terdapat di Pulau Jawa. Salah satu limbah yang dihasilkan adalah ampas tahu yang merupakan hasil ikutan dari proses pembuatan tahu. Limbah ampas tahu mengandung bahan organik yang tinggi. Dalam proses pembuatan biogas bahan organik dikenal sebagai *volatile solid* yang berguna sebagai substrat (sumber makanan) bagi bakteri, namun limbah ampas tahu bersifat asam sehingga diperlukan suatu bahan yang bisa menjadi *buffer* dalam proses pembuatan biogas. Salah satu bahan yang digunakan adalah kotoran sapi.

Limbah ampas tahu mengandung bahan organik yang tinggi, sementara kotoran sapi merupakan substrat yang paling cocok sebagai sumber pembuatan biogas, karena telah mengandung bakteri metanogen. Pembuatan biogas dari ampas tahu dan kotoran sapi merupakan suatu proses yang relatif murah dan memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi. Biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai energi *renewable* dan *sludge* dari sisa peruraian biogas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Pemanfaatan ampas tahu dan kotoran sapi menjadi biogas sekaligus mengatasi masalah pencemaran yang diakibatkan oleh ampas tahu dan kotoran sapi tersebut.

Landasan Teori

Limbah ampas tahu merupakan hasil sampingan dalam pembuatan tahu. Limbah ampas tahu sangat memungkinkan untuk dijadikan sebagai energi terbarukan yakni biogas. Semua biomassa mengandung karbohidrat (selulosa, hemiselulosa, lignin), protein, lemak, mineral, dan *trace elemen* sebagai komponen utamanya dapat digunakan sebagai substrat mikroorganisme menghasilkan biogas [2]. Kotoran sapi adalah bahan dasar berpotensi yang lengkap dan terdiri dari molekul berstruktur sederhana sehingga mudah dirombak oleh bakteri.

Biogas terutama tersusun dari sebagian besar metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), serta beberapa gas dalam jumlah yang sedikit [2]. Tahap-tahap lintasan penguraian bahan kompleks organik menjadi gas metan dan CO_2 di dalam proses anaerob dapat digambarkan sebagai berikut:

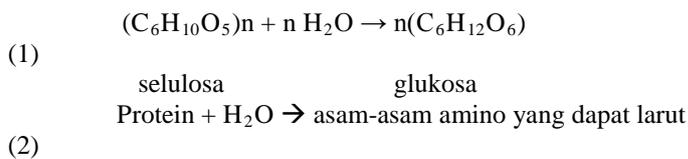


Gambar 1. Jalur degradasi senyawa kompleks organik dalam proses anaerob [3].

Proses-proses yang terjadi di dalam peruraian anaerobik:

Hidrolisis adalah proses pemecahan molekul kompleks berukuran besar menjadi molekul yang sederhana. Fermentasi adalah proses penguraian senyawa-senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana dalam kondisi anaerob. Pada tahap ini, bahan-bahan organik seperti karbohidrat, lipid dan protein didegradasi menjadi senyawa dengan rantai pendek [4].

Reaksi hidrolisis [5] :



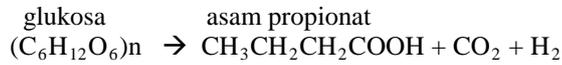
Pada fase *acetogenesis*, komponen-komponen organik yang dapat larut diuraikan oleh bakteri anaerob untuk memproduksi asam-asam organik yang mudah menguap seperti asam asetat, asam butirat,

asam format, asam propionat, dan asam-asam lemak rantai pendek. Terjadi pada suhu 30°C dan pada pH 4-6 [6].

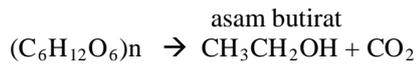
Reaksi asidogenesis [5]:



(3)



(4)



(5)

Etanol

Fase selanjutnya adalah fase *methanogenesis*, yakni asam asetat diuraikan oleh bakteri metanogen menjadi CH₄, CO₂, dan H₂O. Pembentukan metana sebagian besar berasal dari asam asetat (70%), sisanya dari asam format, methanol, CO₂, dan H₂ [7].

Reaksi metanogenesis [5] :



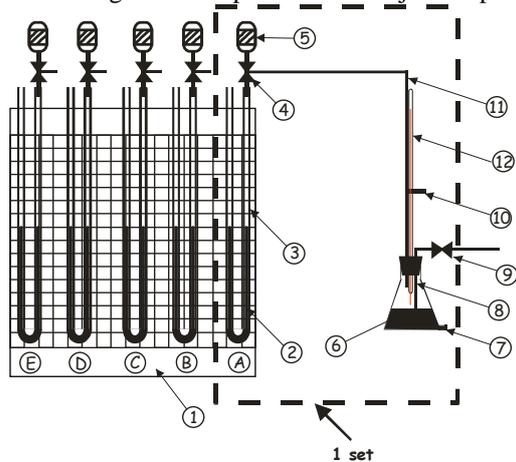
Selain Kondisi digester, Karakteristik substrat, dan pertumbuhan organisme yang mempengaruhi produksi biogas, pengaruh starter juga penting yakni untuk mempercepat reaksi diperlukan *starter* yang mengandung bakteri metana. Bakteri metana meliputi: *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanosarcaria*, dan *Methanococcus* [8].

Metodologi

Limbah Ampas tahu didapatkan dari industri tahu di Dusun Jetis, Tirtomartani, Kalasan, Sleman. Kotoran sapi dan Inokulum (Effluen dari digester aktif) didapatkan dari peternakan di Kebun Pendidikan dan Pengembangan Pertanian (KP4) Universitas Gadjah Mada, di Berbah, Sleman, Yogyakarta. Air yang digunakan pada penelitian ini air dari laboratorium Konversi Energi dan Pencegahan Pencemaran, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan selama proses produksi biogas, maka dilakukan analisis bahan dasar substrat berupa pH, suhu *total solid*, dan *volatile solid*.

Alat Penelitian

Rangkaian alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Keterangan Gambar :

- 1.Papan Penyangga: a,b,c, d, dan e Unit Biogas
- 2.Pembacaan Level
- 3.Pipa U
- 4.Kran 3 arah
- 5.Gas Bag
- 6.Erlenmeyer/Tempat bahan
- 7.Tempat pengambilan sampel padat
- 8.Karet Penyumbat
- 9.Tempat pengambilan sampel cairan
- 10.Tempat sampling gas
- 11.Pipa Gas Hasil
- 12.Termometer

Gambar 2. Rangkaian Alat Penelitian

Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan variasi komposisi pada 3% VS dengan perbandingan antara limbah ampas tahu dengan kotoran sapi, yakni 100 : 0 sebagai kontrol limbah ampas tahu; 0:100

sebagai kontrol kotoran sapi; 50 : 50; 75:25; 25:75. kemudian variasi 2%, 3%, 4%, dan 5% VS dengan komposisi 50:50 untuk limbah ampas tahu dan kotoran sapi dengan total volume 800 mL.

Jalannya Penelitian

Hal pertama yang dilakukan adalah merangkai peralatan biodigester, dan memeriksa sambungan dari kebocoran. Hal kedua yaitu mempersiapkan bahan baku, mencampur dan memasukkan ke dalam *Erlenmeyer*, kemudian menambahkan air sehingga volume totalnya 800 mL kemudian dilakukan tes kebocoran untuk kedua kalinya. pH awal campuran diukur dengan pH meter dan pH universal, lalu erlenmeyer ditutup rapat-rapat, digester dirangkai seperti pada Gambar 3.1. Fermentasi dilakukan pada suhu ruangan. Selama proses fermentasi dilakukan analisis kandungan metana, karbondioksida, *total solid*, dan *volatile fatty acid* pada hari ke-4, 8, 14, 21 dan 28. Nilai pH dan volume biogas yang dihasilkan dicatat setiap hari, kemudian proses fermentasi dihentikan pada hari ke-28.

Cara Analisis dan Pengamatan

Analisis kadar gas metana dan gas karbondioksida dilakukan pada hari ke-4,8,14,21, dan 28. Menggunakan *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu GC 8A. Volume biogas yang terbentuk di dalam biodigester diukur setiap hari dengan melihat tekanan pada manometer, di mana gas yang terbentuk akan menekan cairan dalam manometer, sehingga terjadi beda ketinggian cairan pada manometer. Sedangkan, analisis *volatile fatty acid* dilakukan dengan proses sentrifugasi dan kemudian cairan dianalisis dengan menggunakan alat *Gas Chromatography* (GC).

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Limbah Ampas Tahu, Kotoran Sapi dan Effluent

Tabel 1. Karakteristik limbah ampas tahu

Parameter	Hasil analisis
Kadar air (%)	89,405
Kadar abu (%)	0,32
Lemak (%)	0,93
Protein (%)	2,01
C/N ratio	12
<i>Total Solid</i> (%)	12,39
<i>Volatile Solid</i> (%)	95,39
pH	6,32

Tabel 2. Karakteristik kotoran sapi

Parameter	Hasil analisis
<i>Total Solid</i> (%)	20,11
<i>Volatile Solid</i> (%)	71,36
C/N	22
pH	6,87

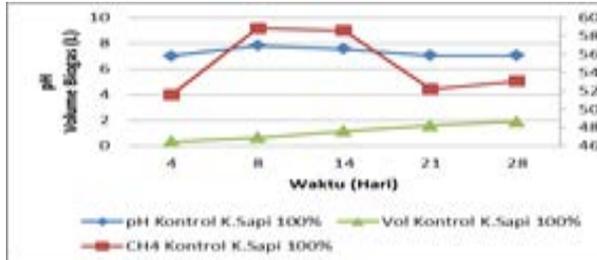
Tabel 3. Karakteristik Inokulum (Effluen dari digester aktif)

Parameter	Hasil analisis
<i>Total Solid</i> (%)	8,55
<i>Volatile Solid</i> (%)	75,79
pH	7,10

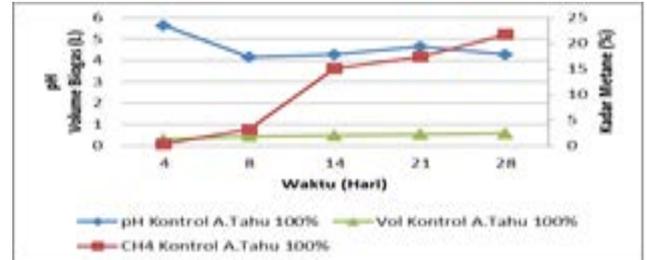
Dari hasil pengujian Karakteristik Bahan awal yang dimasukan dalam biodigester menunjukkan bahwa nilai parameter yang diujikan pada karakteristik bahan awal berada pada nilai optimum yang bisa

mempengaruhi produksi biogas. Besarnya nilai pH pada ketiga bahan awal yang dimasukkan ke dalam biodigester adalah antara 6,32-7,10. Hal ini berarti besarnya pH tersebut masih berada dalam rentang nilai optimum pH dalam biodigester dimana bakteri masih bisa tumbuh dengan baik.

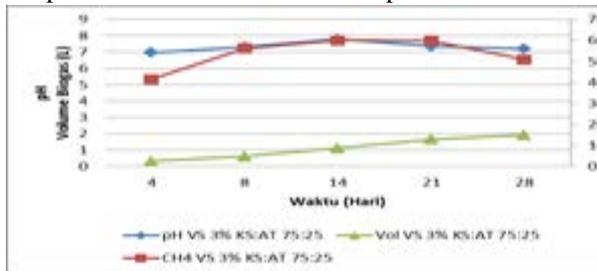
Pengaruh Komposisi Substrat terhadap Kadar Gas Metana, Volume Biogas dan pH pada Periode Waktu Tertentu



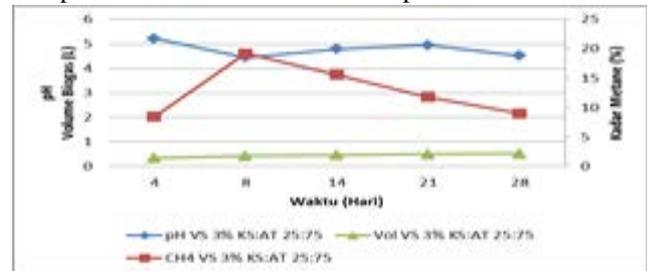
Gambar 3. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat 100% kotoran sapi



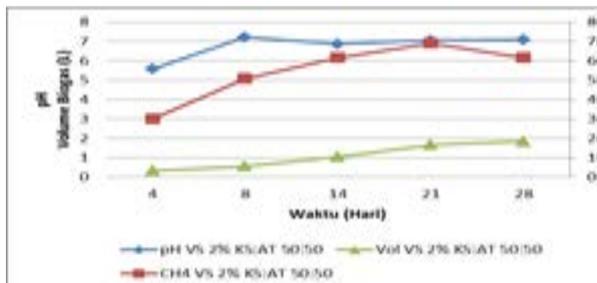
Gambar 4. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat 100% limbah ampas tahu



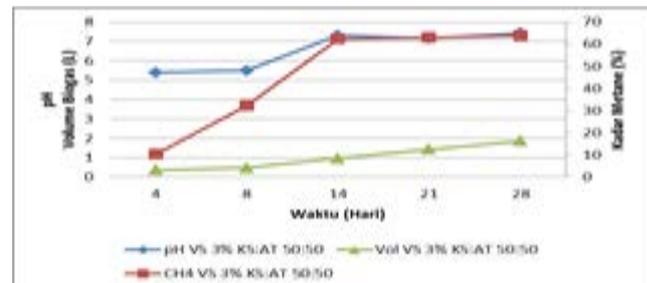
Gambar 5. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat kotoran sapi:limbah ampas tahu = 75:25



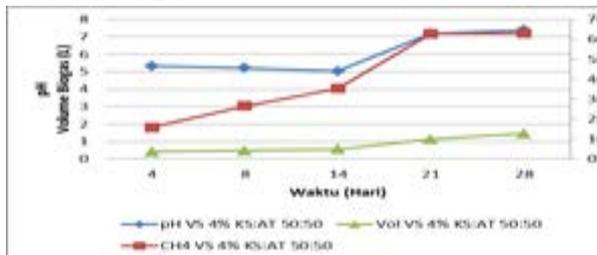
Gambar 6. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat kotoran sapi:limbah ampas tahu = 25:75



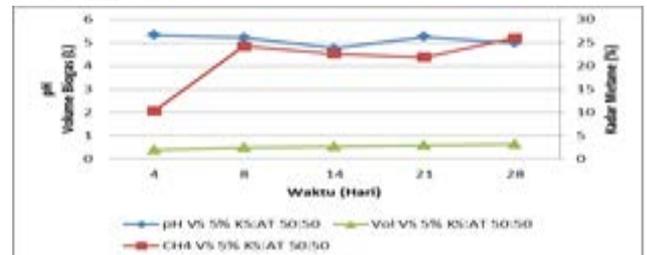
Gambar 7. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat kotoran sapi:limbah ampas tahu = 50:50 dan VS 2%



Gambar 8. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat kotoran sapi:limbah ampas tahu = 50:50 dan VS 3%



Gambar 9. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat kotoran sapi:limbah ampas tahu = 50:50 dan VS 4%



Gambar 10. Pengaruh antara pH, akumulasi volume biogas dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat kotoran sapi:limbah ampas tahu=50:50 dan VS 5%

Gambar 3-10 memperlihatkan produksi biogas sudah terbentuk pada empat hari pertama operasi. Pada Gambar 3 dan 5 yang kandungan kotoran sapi lebih besar menghasilkan kandungan metan yang lebih besar dibandingkan Gambar 4 yang tidak mengandung kotoran sapi sama sekali. Sedangkan, pada Gambar 7-9 menunjukkan kadar metan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan Gambar 3 yang menggambarkan sampel yang hanya mengandung kotoran sapi. Hal ini disebabkan adanya *effluent* aktif yang berasal dari kotoran sapi sehingga lebih mudah dalam proses adaptasi mengkonsumsi substrat sedangkan pada digester yang ada campuran limbah ampas tahu mengalami adaptasi dengan substrat baru yakni limbah ampas tahu, sehingga kenaikan pH membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan substrat yang hanya mengandung kotoran sapi.

Mikroorganisme yang bekerja pada tahap awal adalah mikroorganisme pada proses asidogenesis yang memiliki kecepatan pertumbuhan yang sangat cepat. Hal ini dapat dilihat dari kondisi keasaman yang menurun terutama dari digester yang mengandung limbah ampas tahu lebih banyak. Namun, setelah beberapa hari fermentasi berlangsung, bakteri metanogen berangsur-angsur semakin aktif sampai tercapai pH optimal untuk produksi biogas.

Penurunan pH berindikasi kurang menguntungkan bagi mikroorganisme metanogen, hal ini disebabkan mikroorganisme metanogen sangat sensitif terhadap perubahan pH. Penurunan pH pada Gambar 3, 5, 7, 8, 9, dan 10 masih berada pada kisaran pH yang aman bagi mikroorganisme metanogen. Sedangkan pada Gambar 4 dan 6 terjadi penurunan pH yang cukup toksik bagi mikroorganisme metanogen, diperkirakan pada rentang waktu tersebut terjadi proses hidrolisis-asidogenesis yang menghasilkan asam volatil sehingga nilai pH menjadi turun. Kemampuan biodigester untuk menjaga pH terhadap produksi asam yang merupakan hasil metabolisme dari kandungan organik dengan melepaskan kation [9]. Menurut Wirda dan Handajani [10] penurunan pH menciptakan kapasitas *buffer* dalam reaktor sehingga larutan yang akan diolah dapat mempertahankan pH disekitar pH 7 walaupun pembentukan asam pada fase asidogenesis dan asetogenesis masih terus berlangsung. Sehingga bisa dikatakan bahwa kotoran sapi bisa menjadi *buffer* pada sistem. Hal ini bisa dibuktikan pada Gambar 3, 5, 7, 8, 9, dan 10 memperlihatkan bahwa dengan adanya campuran limbah ampas tahu dan kotoran sapi, pH berada pada kisaran yang aman dalam proses pembentukan metan dibandingkan dengan Gambar 4 dan 6 yang berisi lebih banyak limbah ampas tahu.

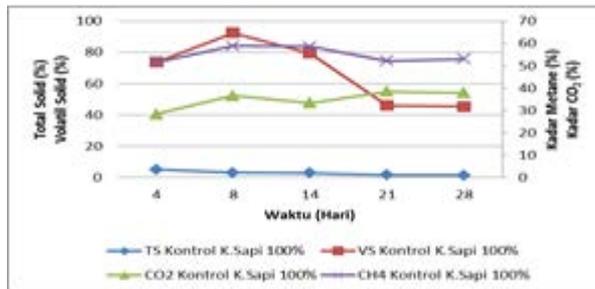
Campuran limbah ampas tahu dan kotoran sapi merupakan substrat yang mengandung bahan organik yang tinggi (*volatile solid* tinggi) dengan kandungan karbohidrat dan gula sederhana memungkinkan bakteri akan semakin cepat mengkonsumsi campuran limbah ampas tahu dan kotoran sapi menjadi biogas. Hal inilah yang menyebabkan dengan adanya campuran limbah ampas tahu dan kotoran sapi, maka volume biogas pun semakin meningkat dibandingkan tanpa penambahan limbah ampas tahu. Indikasi ini menggambarkan bahwa di dalam biodigester mikroorganisme metanogen yang berkembang adalah mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk penyesuaian aklimatisasi dalam memanfaatkan substrat (sumber makanan) dari campuran limbah ampas tahu dan kotoran sapi.

Pengaruh Perbedaan Komposisi Substrat Terhadap Total Solid, Volatile Solid, Kadar Gas Karbondioksida, dan Kadar Gas Metana pada Periode Waktu Tertentu

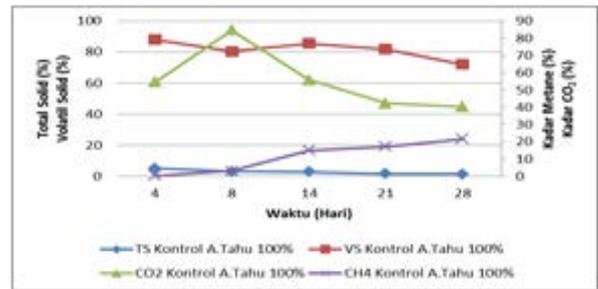
Salah satu parameter yang mempengaruhi keberhasilan proses produksi biogas adalah tingkat pengenceran dan kandungan bahan organik di dalam biodigester. Pengenceran slurry di dalam biodigester dapat dilihat dari *volatile solid* (VS) dan total padatan (*total solid*) dalam menyatakan seberapa besar beban pencernaan yang harus dilakukan mikroorganisme pada proses hidrolisis dan [11]. Berdasarkan Gambar 11-14 dapat dilihat bahwa slurry yang lebih encer akan menghasilkan kadar metana yang lebih tinggi dan lebih cepat jika dibandingkan dengan slurry yang lebih kental. *Total solid* dan *volatile solid* berupa *slurry* keluaran biodigester pada tahap awal terjadi penurunan karena adanya proses degradasi senyawa organik menjadi biogas. Sementara mulai hari ke-14 tahap operasi, *total solid* cenderung tetap hal ini disebabkan karena sel-sel mikroorganisme (biomassa) yang terbentuk semakin banyak. Biomassa yang keluar akan terukur sebagai bahan padatan berupa *total solid* dan *volatile solid*. Sementara beban pencernaan (substrat) mikroorganisme dilihat dari jumlah *volatile solid*.

Berdasarkan Gambar 11-18 dapat dilihat, pada awal proses operasi terjadi peningkatan *volatile solid* (fase adaptasi), di mana terjadi penambahan volume sel mikroorganisme tetapi tidak dijumpai

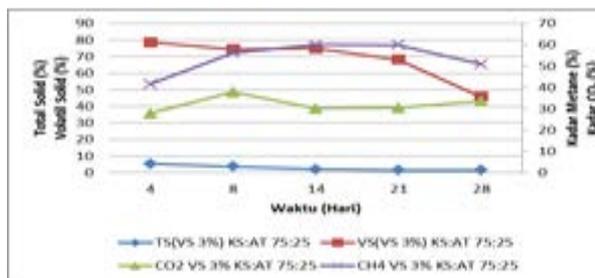
pertambahan jumlah sel. Perubahan bahan organik menjadi produk metana dalam bentuk gas yang tidak larut, sehingga pengurangan bahan karbon organik dalam *slurry* belum terjadi peningkatan. Setelah masa adaptasi (hari ke-8) perubahan kadar *total solid* dan *volatile solid* cenderung menurun selama berlangsungnya proses produksi biogas. Penurunan *total solid* dan *volatile solid* berindikasi dengan peningkatan kadar gas metana yang dihasilkan. *Volatile solid* merupakan substrat (sumber makanan) bagi mikroorganisme non metanogen yang bekerja pada tahap awal produksi biogas, penurunan *volatile solid* menunjukkan di dalam biodigester terjadi proses degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme non metanogen. Mikroorganisme di dalam biodigester berangsur-angsur mencapai pertumbuhan yang seimbang antara mikroorganisme non metanogen dan metanogen, kondisi ini dapat dilihat dari produksi gas metana yang meningkat.



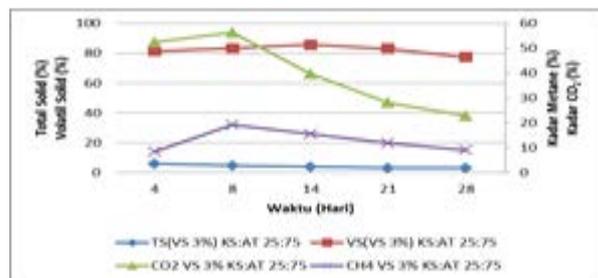
Gambar 11. Pengaruh antara *total solid*, *volatile solid*, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat 100% kotoran sapi, VS 3%, dan $VS_0 = 81,44\%$



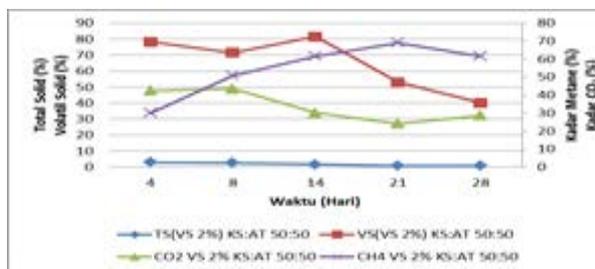
Gambar 12. Pengaruh antara *total solid*, *volatile solid*, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat 100% limbah ampas tahu, VS 3%, dan $VS_0 = 94,19\%$



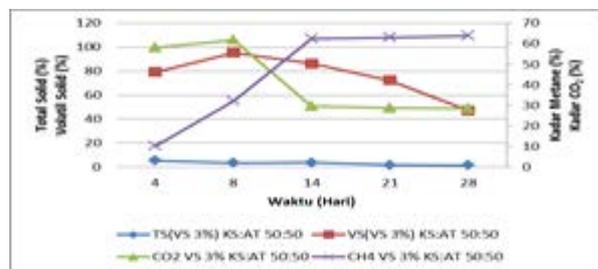
Gambar 13. Pengaruh antara *total solid*, *volatile solid*, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat KS:AT = 75:25, VS 3%, dan $VS_0 = 79,05\%$



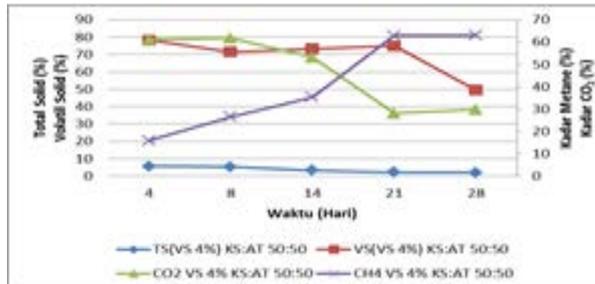
Gambar 14. Pengaruh antara *total solid*, *volatile solid*, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat KS:AT = 25:75, VS 3%, dan $VS_0 = 85,37\%$



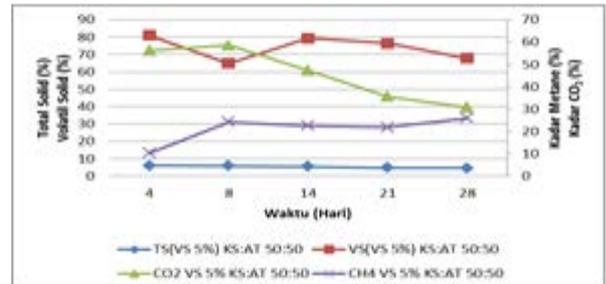
Gambar 15. Pengaruh antara *total solid*, *volatile solid*, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat KS:AT = 50:50, VS 2%, dan $VS_0 = 83,43\%$



Gambar 16. Pengaruh antara *total solid*, *volatile solid*, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat KS:AT = 50:50, VS 3%, dan $VS_0 = 81,38\%$



Gambar 17. Pengaruh antara total solid, volatile solid, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat KS:AT = 50:50, VS 4%, dan VS₀ = 83,45%



Gambar 18. Pengaruh antara total solid, volatile solid, kadar gas karbondioksida, dan kadar gas metana dengan waktu pada komposisi substrat KS:AT = 50:50, VS 5%, dan VS₀ = 82,69%

Kesimpulan

Penambahan kotoran sapi pada limbah ampas tahu menghasilkan biogas dengan kadar yang lebih tinggi dibandingkan biogas yang hanya berisi kotoran sapi dan ampas tahu saja. Hal ini terlihat jelas pada komposisi 50% kotoran sapi dan 50% limbah ampas tahu dengan VS 3% dengan konsentrasi gas metana sebesar 68,98% pada hari ke-21

Produksi biogas dan kadar gas metan tertinggi tersebut dikarenakan kotoran sapi dapat menyeimbangi kandungan asam yang terkandung dalam limbah ampas tahu dan memprosesnya menjadi gas metan. Sehingga, kotoran sapi bisa berperan sebagai *buffer* pada proses ini.

Komposisi yang mengandung lebih banyak limbah ampas tahu menghasilkan produksi biogas dan kadar metan yang rendah, karena limbah ampas tahu bersifat asam sehingga bakteri metanogen tidak dapat menyeimbangi pembentukan asam tersebut, hal ini menyebabkan produksi biogas serta gas metan yang dihasilkan tidak optimal.

Daftar Pustaka

1. Wahyuni, S., 2009, "Biogas", Penebar Swadaya, Jakarta.
2. Deublein, D. Steinhauser, A., 2008, "Biogas from Waste and Renewable Resources", Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
3. Yebo Li, Stephen Y. P., Jiyong Zhu, 2010, "Solid-State Anaerobic Digestion for Methane Production from Organic Waste", 2, 822.
4. Ritmann, B. E., McCarty, P. L., 2001, "Environmental Biotechnology : Principles and Applications", McGraw-Hill Higher Education, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
5. Verma, S., 2002, "Anaerobic Digestion of Biodegradable Organic in Municipal Solid Waste", Thesis Report, Columbia University, US.
6. Shuler, M.L., Kargi, F., 2002. "Bioprocess Engineering, Basic Concepts", Prentice Hall International Series PTR, edisi 2, United State of America.
7. Gaudy, A., Gaudy, E., 1981, "Microbiology For Environmental Scientist and Engineers", McGraw-Hill, Inc.

8. Junus, M., 1987, "Teknik Membuat dan Memanfaatkan Unit Gas Bio", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
9. Speece, R.E., 1996, "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater", Archae press: USA.
10. Wirda, F.R., Handajani, M. "Penyisihan Senyawa Organik Pada Biowaste Fasa Cair Dengan Variasi Air Pencuci Pada Rasio 1:2 Dalam Reaktor Batch", Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
11. Sjafruddin R., 2011, "Strategi Start-Up Produksi Biogas Dari Campuran Sampah Buah Dengan Menggunakan *Starter* Kotoran Sapi : Hasil Percobaan Menggunakan Campuran Sampah Buah Sampai Dengan 10 Persen" Program Studi S2 Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.