

## PRODUKSI BIOGAS DARI SAMPAH BUAH DAN SAYUR : PENGARUH VOLATILE SOLID DAN LIMONEN

Piyantina Rukmini<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Kependidikan Nahdlatul Ulama Indramayu  
Jl. Raya Kaplongan No. 28 Karangampel – Indramayu Jawa Barat

\*E-mail: Piyantinanu@yahoo.com

**Abstrak-** Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang sedang dikembangkan dan sumber energi yang terbarukan. Bahan baku yang digunakan adalah kulit jeruk busuk (*Citrus sinensia osbeck*) dan kobis (*Brassica oleracea*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh volatile solid dan limonen terhadap produksi biogas. Penelitian menggunakan erlenmeyer 500 mL sebanyak 6 buah, waterbath, manometer air, dan thermometer. Volume total digester 350 mL. Penelitian dilakukan dengan cara menghancurkan bahan baku supaya lebih mudah didegradasi oleh bakteri. Oksigen yang bersifat toxic bagi bakteri anaerobik, dapat dihilangkan dengan penambahan  $N_2$  dalam digester pada awal operasi. Penelitian dilakukan pada kondisi mesofilik ( $30 - 40^{\circ}C$ ) selama 50 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada digester yang memiliki VS sama (T1 dan T3 dengan 15% VS, dan T2 dan T4 dengan 20% VS), dengan konsentrasi kulit jeruk/limonen berbeda ( $T1= 114ppm < T3= 170ppm$ , dan  $T2= 152ppm < T4= 225ppm$ ), maka digester dengan konsentrasi kulit jeruk/limonen yang lebih tinggi akan menghasilkan asam asetat lebih tinggi pada setiap minggunya. Akumulasi asam asetat pada fase acethogenesis menyebabkan bakteri methanogen tidak dapat tumbuh dengan optimum pada fase berikutnya (methanogenesis). Pada kondisi yang sama, digester yang memiliki konsentrasi kulit jeruk/limonen yang lebih besar ( $T1 < T3$ , and  $T2 < T4$ ) akan menghasilkan volume biogas yang lebih besar ( $T1= 54.963 \text{ cm}^3 < T3= 46.372 \text{ cm}^3$ ,  $T2= 60.314 \text{ cm}^3 < T4= 69.191 \text{ cm}^3$ ). Pada konsentrasi kulit jeruk/limonen 114ppm, diperoleh metana dengan kadar 0.1298%V/grVS.

**Kata kunci:** Biogas, digester anaerobic, kulit jeruk, limonen.

**Abstract-** Biogas is one of alternative energy resources that is being developed and renewable. The raw material that use were rotten orange (*Citrus sinensis osbeck*) and cabbage (*Brassica oleracea*). This research aimed to know influence of volatile solid and limonene the biogas production from fruit and vegetable waste. This research used 6 unit of Erlenmeyer 500 mL, waterbath, water manometer, and thermometer. Total volume of the digester was 350 mL. Adjustment of the pH in the start up was done to make the optimum condition for pH grow of methanogen (6,8 – 7,8). Toxicity of oxygen could be healed by spraying  $N_2$  in the digester in the beginning. The research was done under mesophilic conditions ( $30 - 40^{\circ}$ ), during 50 days. The results showed that digester that has same VS (T1 and T2) with 15% VS, T2 and T4 with 20% VS) with different concentration of rotten orange/limonene ( $T1=114ppm < T3=170ppm$ , and  $T2=152ppm < T4=225 \text{ ppm}$ ), hence digester with higher concentration of orange peel/limonene will produce higher acetic acid every week. Accumulation of acetic acid in acidogenesis phase because of the limonene caused the methanogen bacteria cannot grow in the next phase (methanogenesis). At the same conditions, the volume of biogas that has higher concentration of rotten orange/limonene ( $T1 < T3$ , and  $T2 < T4$ ) will produce higher accumulation of biogas volume ( $T1=54.963\text{cm}^3 < T3=46.372 \text{ cm}^3$ ,  $T2=60.314 \text{ cm}^3 < T4=69.191 \text{ cm}^3$ ). At concentration of rotten orange/limonene 114 ppm, would obtain 0.1298%/grVS of methane concentration.

**Keywords:** Biogas, anaerobic digestion, orange peel, limonene

### PENDAHULUAN

Usaha agroindustri di Indonesia mulai digalakkan untuk menunjang perekonomian negara. Salah satu jenis tanaman pertanian yang dikembangkan adalah peningkatan produksi buah jeruk, untuk memenuhi konsumsi kebutuhan jeruk

dalam negeri maupun peningkatan nilai ekspor jeruk. Produksi jeruk di Indonesia pada tahun 2004, luas panen jeruk telah mencapai 70.000 ha dengan total produksi sebesar 1.600.000 ton.

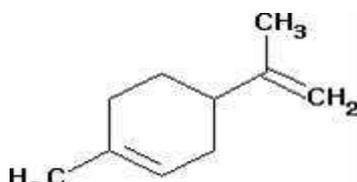
Kulit jeruk sebagai sumber material organik produksi biogas, dapat menghasilkan minyak

*essential oil* (EO) yang merupakan hasil metabolit sekunder. EO hasil dari metabolite sekunder ini menunjukkan sifat aktifitas antimikrobal terhadap bakteri maupun fungi. EO merupakan senyawa terpenoids, khususnya monoterpen (C10) dan sesquiterpene (C15). EO dari beberapa sumber karbon telah menunjukkan perubahan pertumbuhan bakteri maupun metabolisme beberapa mikroorganisme, termasuk bakteri rumen (Wallace, 2004).

Limonen memiliki efek antimikrobal walaupun dalam konsentrasi yang kecil, dan pada konsentrasi yang tinggi membuat gagalnya proses fermentasi anaerobik. Limonen dapat menjadi toxic bagi pertumbuhan bakteri yang bisa mengubah material organik menjadi gas metana. Limonen dapat mengurangi penguasaan protein dan mengatur fermentasi rumen dengan jalan mereduksi konsentrasi partikel *volatile fatty acid* dan mengurangi populasi bakteri. Penurunan penguasaan protein dengan cara mereduksi deaminasi berhubungan dengan pertumbuhan bakteri yang dihambat (inhibisi) dari spesifik group bakteri rumen. Pada penelitian ini, konsentrasi terbaik kulit jeruk yang harus ditambahkan dalam digester anaerobik, menjadi parameter besarnya pengaruh inhibisi produksi biogas.

*Essential oil* buah jeruk terdapat pada kantung-kantung minyak berbentuk oval, balon, dalam kelenjar atau gelembung dengan ukuran diameter bervariasi dari 0,4–0,6 mm (Guenther,1990). Kantung minyak tersebut tidak memiliki saluran dan tidak berhubungan dengan sel sekitarnya atau dengan dinding luar sel, tidak memiliki dinding tetapi dibatasi oleh reruntuhan jaringan yang terdegradasi.

Limonene merupakan senyawa hidrokarbon, dan merupakan senyawa monoterpen siklik dengan rumus kimia C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>. Efek dari limonen adalah penurunan pH.



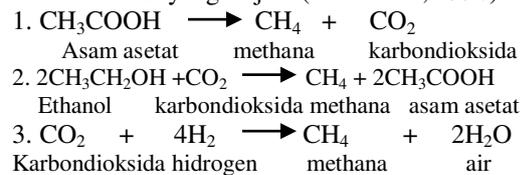
Gambar 1. Rumus bangun limonene

Limonen dapat mempengaruhi membran sel mikrobia dan menghambat pertumbuhan beberapa bakteri gram-positif dan gram-negatif. Dari penelitian inhibisi sebelumnya, penambahan beberapa ekstrak tanaman pada rumen mengakibatkan inhibisi deaminasi dan methanogenesis, menghasilkan sedikit ammonia,

konstraksi methane, asetat, dan konsentrasi propionat dan butirrat yang tinggi.

Limonen juga memperlihatkan sifat efek merusak membran mikrobial, terutama bakteri gram (+) yang susunan selnya lebih sederhana dibandingkan dengan bakteri gram (-). Bakteri gram (+) hanya terdiri dari komponen peptidoglikan dan asam teikoat, bakteri gram (+) juga tidak mempunyai lapisan lipo-polisakarida yang melindungi membran. Hal inilah yang membuat limonen lebih mudah merusak protein porin, sehingga menyebabkan sel lisis (Jawetz, et al, 1996).

Reaksi yang terjadi (Palmisano, 1996) :



Pada dasarnya efisiensi produksi biogas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor meliputi : suhu, derajat keasaman (pH), konsentrasi asam-asam lemak volatil, nutrisi (terutama nisbah karbon dan nitrogen), zat racun, waktu retensi hidrolik, kecepatan bahan organik, dan konsentrasi ammonia.

Secara garis besar reaksi kimia proses dekomposisi anaerobik pembentukan biogas dengan komposisi utamanya adalah gas metana dapat dibagi menjadi tiga tahap proses yang diuraikan sebagai berikut :

1. Tahap pertama (*depolymerization*), merupakan tahap reduksi senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh bakteri hidrolitik (Palmisano, 1996). Tahap depolimerisasi atau tahap hidrolisis merupakan salah satu dari banyak jalur proses depolimerisasi. Proses depolimerisasi dimediasi oleh *ekstracelluler enzyme* yang dikeluarkan oleh mikroorganisme. Bakteri hidrolitik ini bekerja pada suhu antara 30-40 °C untuk kelompok mesophilik dan antara 50-60 °C untuk kelompok termophilik. Tahap pertama ini berlangsung pada pH optimum antara 6,2 dan 7,8.

2. Tahap kedua (*acetogenesis*), pengubahan senyawa sederhana menjadi asam organik yang mudah menguap seperti asam asetat, asam butirrat, asam propionat dan lain-lain

3. Tahap *methanogenesis*, total gas produksi methane berhubungan dengan jumlah dan kecepatan konversi bahan organik yang diwujudkan dengan perubahan *volatile solid*. Pada dasarnya efisiensi produksi biogas dipengaruhi oleh beberapa hal, meliputi suhu, pH, Ratio C/N, konsentrasi asam – asam lemak volatil, zat racun (*toxicity*), dan waktu tinggal dalam digester. Penelitian yang lain yang berhubungan dengan

sampah buah dan sayur menyatakan bahwa dari 54 jenis buah dan sayur, maka akan menghasilkan yield methana kisaran antara 0,18 sampai dengan  $0,732\text{g}^{-1}$  VS added (Gunaseelan, 2004).

Pada proses pengolahan biogas, polimer kompleks dihidrolisis menjadi bahan yang lebih sederhana (monomer), dan secara simultan dirubah menjadi senyawa *volatile fatty acid* yang memiliki 2 dan 3 -5 karbon. Limonen mengalami proses *biological transformation* untuk merubah senyawa aromatik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa asam asetat merupakan senyawa yang diolah oleh bakteri sebagai substrat untuk pembentukan metana.

*Antimicrobial agent* adalah bahan kimia yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Beberapa *antimicrobial agent* sangat efektif membunuh mikroorganisme pada konsentrasi yang rendah, mulai dari 1 – 10 ppm (1- 10  $\mu\text{g/mL}$ ).

Total gas dan produksi metana berhubungan secara langsung dengan besarnya dan kecepatan konversi bahan organik yang didegradasi dan diekspresikan sebagai *volatile solid*, yang secara spesifik diartikan sebagai *percentage of dry matter content*.

### Degradasi Limonen

Asam asetat merupakan senyawa yang diolah oleh bakteri sebagai substrat untuk pembentukan metana. Bakteri yang melakukannya adalah *methanogenic acetoclastic* dan fraksi minor lain diperoleh dari *soluble inorganic carbon* dan hydrogen oleh mikroorganisme *methanogenic-hydrogenophilus*. Degradasi limonen dalam kondisi *methanogenic* belumlah banyak dipelajari, sehingga banyak penelitian dilakukan untuk mempelajarinya. Degradasi limonen dengan adanya sebuah *electron acceptore*, merupakan *less exergonic* jika dibandingkan proses *aerobic* ataupun proses *anaerobic* respirasi lainnya. Konsekuensinya, mikroorganisme beradaptasi untuk mengeksploitasi bentuk energi minimal, dengan cara penetapan *mutualistic interactions-syntropy*. Polimer dihidrolisis menjadi oligo- dan monomer oleh enzim ekstraselluler yang diproduksi oleh *primary fermenting bacteria*. Proses fermentasi berikutnya dilakukan oleh bakteri ini, untuk kemudian diubah menjadi senyawa *fatty acid*, alcohol, succinate, laktat, dan sebagainya. *Secondary fermenter* merubah rantai pendek asam lemak dan alcohol menjadi asetat, formiat, hydrogen, dan karbondioksida. Rantai makanan yang sesuai dapat mendegradasi limonen. Bakteri fermentasi dapat mendegradasi limonen menjadi asam lemak dan alcohol, kemudian merubahnya menjadi senyawa yang lebih sederhana. *Syntropic bacteria* dapat membuat

asam lemak yang lebih kecil sebagai substrat, dan produk akhir katabolic mereka dapat menjadi nutrisi bagi komunitas *metahogenic*. Asetat dibentuk dan dikonsumsi dalam kultur yang diinkubasi dengan limonen, dan dianggap bahwa asetat berubah antara *syntroph* dan *methanogen*. Lebih jelasnya dapat dikatakan bahwa asetat merupakan senyawa intermediate pada proses degradasi alkane dalam kondisi *anaerobic*.

### Resistensi bakteri terhadap agen antimikrobia

*Antimicrobial agent* adalah bahan kimia yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme, dapat berasal dari beberapa senyawa kimia maupun yang berasal dari produk alam (Brock, 1970). Antimikrobia berasal dari produk alam disebut antibiotik. Beberapa agen antimikrobia sangat efektif membunuh mikroorganisme pada konsentrasi yang rendah, mulai dari 1 – 10 ppm (1 – 10  $\mu\text{g/mL}$ ).

Sensitifitas mikroorganisme terhadap antibiotik sangat bervariasi. Bakteri gram positif lebih sensitif dibandingkan dengan bakteri gram negatif, walaupun beberapa *antibiotic* bekerja pada bakteri gram negatif. Perbedaan besar sensitifitas antara mikroorganisme prokariot dan eukariot terhadap antibiotik menjadi hal penting bagi dunia mikrobiologi. Antimikrobia dapat memberikan efek terhadap mikroorganisme jika senyawa tersebut mampu untuk mengikat bagian – bagian vital mikroorganisme, karena tidak adanya kekuatan mikroorganisme yang cukup besar untuk melawan antimikrobia pada jangka waktu yang lama. Pada tiap tahapan-tahapan proses degradasi anaerobik, terdapat bakteri yang mendegradasi material organik menjadi senyawa lain. Pada tiap tahapan, terdapat bakteri bakteri yang mengubah suatu senyawa rantai panjang menjadi senyawa yang lebih pendek.

Beberapa bakteri memiliki resistensi terhadap antimikrobia, sehingga mampu bertahan hidup dengan adanya senyawa antimikrobia. Resistensi bakteri bakteri pada tiap-tiap fase proses pembuatan biogas tidaklah sama. Resistensi bakteri terhadap senyawa antimikrobia adalah kemampuan bakteri atau mikroorganisme lain untuk menahan efek antimikrobia. Resistensi antimikrobia terjadi ketika bakteri dapat merubah diri sedemikian rupa hingga dapat mengurangi efektifitas dari suatu antimikrobia, sehingga bakteri tersebut dapat bertahan hidup dan bereproduksi. Brock (1970) mengatakan bahwa mekanisme resistensi terhadap antimikrobia dapat dilakukan dalam empat cara, sebagai berikut :

- Struktur sensitif bakteri (dinding sel, enzim, atau komponen yang serupa)
- Struktur sel dimana target antimikrobia mengalami sebuah perubahan dalam struktur

sehingga tidak lagi mengikat antimikrobia tetapi masih mampu melakukan fungsi normalnya.

- c. Organisme yang resisten mungkin tidak dapat ditembus antimikrobia karena *surface barrier* atau kehilangan sistem transport.
- d. Organisme dapat memodifikasi antimikrobia menjadi *inactive form*.

Pada proses pengolahan kulit jeruk dengan potensi limonene sebagai senyawa antimikrobia menjadi biogas, bakteri hidrolitik dan bakteri acidogen, masih mampu bertahan dengan adanya limonene. Sifat dari bakteri hidrolitik dan acidogen yang mampu bertahan hidup terhadap akumulasi asam dengan adanya limonene, dan sifat resistensi terhadap efek antimikrobia. Pada fase *methanogenesis*, bakteri *methanogen* tidak cukup resisten terhadap akumulasi asam asetat dan sifat antimikrobia limonene.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Kulit jeruk busuk dari jenis jeruk manis (*Citrus sinensis Osbeck*) dan kobis (*Brassica oleracea*) yang telah dianalisis kadar air, kandungan C, *volatile solid* (VS), ratio C/N, kandungan N, dan kandungan limonennya. Inokulum (kotoran sapi dari KP4 UGM), NaOH, aquadest, dan gas nitrogen. Alat yang digunakan untuk proses degradasi anaerobik menggunakan erlenmeyer 500 ml sebanyak 6 buah, *waterbath*, manometer air, kran pengatur aliran gas, dan termometer.

### Prosedur Penelitian

Kulit jeruk dan kobis yang berasal dari sampah pasar dihaluskan dengan blender untuk mendapatkan keadaan yang homogen untuk mempermudah pendegradasian bahan organiknya. Sementara inokulum disaring sebelum dimasukkan ke dalam digester agar diperoleh kondisi yang relatif homogen pula. Reaktor diisi dengan inokulum, substrat dan ditambahkan air. Reaktor yang berisi sampel dimasukkan ke dalam *waterbath* pada suhu mesophilik. Pengukuran produksi biogas diperlihatkan pada manometer air. Waktu penelitian dilakukan selama 35 hari atau sampai digester tidak menghasilkan biogas lagi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh *volatile solid* dan limonene.

### Pengaruh pH selama proses anaerobik

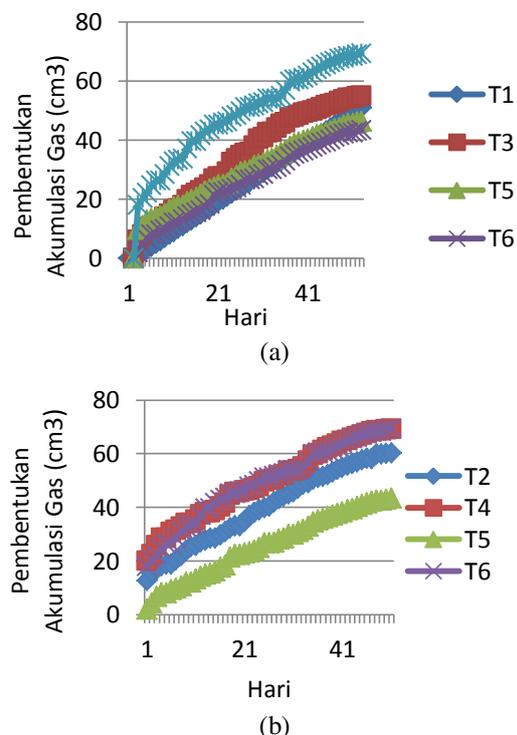
Konsentrasi limonene yang diberikan sangat berpengaruh terhadap pH digester, semakin tinggi konsentrasi limonene maka pH digester makin turun. Salah satu cara untuk menyesuaikan pH dalam kondisi optimum untuk pertumbuhan

bakteri methanogen, yaitu dengan cara penambahan basa diawal operasi. Penyesuaian pH diawal operasi batch ini sepenuhnya tidak membantu keberhasilan proses *methanogenesis*, karena sifat asam dan antimikrobia limonene.

Adanya penyesuaian pH diawal operasi, pH kembali turun pada hari ke-2 hingga pH mencapai 4 – 5. Keadaan ini berlangsung sampai hari ke-30, kecuali pada digester 6 yang hanya berisi inokulum. Penurunan pH yang diikuti oleh kenaikan konsentrasi asam asetat sangat tidak menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri methanogen.

### Pengaruh konsentrasi *volatile solid* terhadap kecepatan pembentukan akumulasi biogas

Dekomposisi bahan organik tergantung pada kelembaban atau kadar air yang mendukung aktifitas mikrobial. Parameter yang menunjukkan kelembaban dan kadar air bahan organik adalah *volatile solid*. Pengaruh *volatile solid* terhadap pembentukan akumulasi volume biogas adalah pada *volatile solid* yang sama, tetapi kecenderungan dengan komposisi kulit jeruk dan kobis yang lebih besar, maka akumulasi gas lebih banyak terbentuk. Pengukuran volume biogas diukur berdasarkan tekanan yang diberikan oleh biogas pada manometer air.



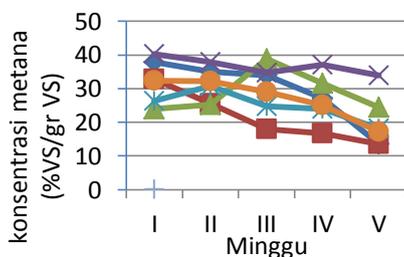
**Gambar 2.** Pengaruh *volatile solid* terhadap Pembentukan Akumulasi Volume Biogas, (a). T1 dan T3 yang memiliki %VS sama, yaitu 15%VS akumulasi gasnya tidak sama, (b). T1 dan T3 yang memiliki %VS sama, yaitu 20%VS akumulasi gasnya tidak sama, T4 akumulasi gas lebih besar

Pada hari pertama hingga hari ke-20, akumulasi pembentukan biogas untuk T1 dan T3 hampir sama. Tetapi pada hari ke-25, akumulasi biogas T3 mulai turun. Pada akumulasi pembentukan biogas dari T4, dari hari ke-1 hingga hari terakhir, T4 selalu lebih besar daripada T2.

Pada fase acetogenik, bakteri *acetogen* masih mampu *survive* dengan adanya limonen. Bakteri-bakteri masih mampu mendegradasi bahan organik menjadi biogas dengan konsentrasi metana yang sangat kecil.

**Pengaruh volatile solid terhadap pembentukan metana**

Hasil penelitian untuk peubah waktu tersaji pada gambar di bawah ini, menunjukkan bahwa pada konsentrasi volatile solid yang lebih kecil, diperoleh metana yang lebih besar.



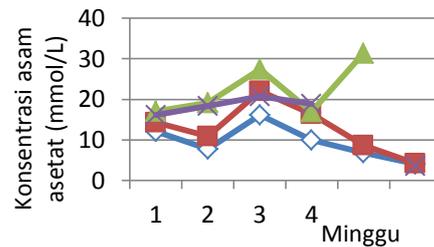
Gambar 3. Pengaruh volatile solid pada pembentukan metana

Total gas dan produksi metana berhubungan secara langsung dengan besarnya dan kecepatan konversi bahan organik yang didegradasi dan diekspresikan sebagai volatile solid (Palmisano, 1996). Konversi materi organik menjadi bentuk yang lebih sederhana dapat dilihat pada pembentukan total volatile fatty acid. Adanya peningkatan pada bagian tersuspensi yang menunjukkan berlangsungnya proses acetogenic yang menghasilkan asam-asam lemak, yang menyebabkan kecepatan pembentukan asam lemak lebih cepat daripada proses methanogenesis. Akumulasi terbentuknya asam-asam lemak inilah yang menyebabkan turunnya pH dalam digester sehingga proses methanogenesis akan terhambat.

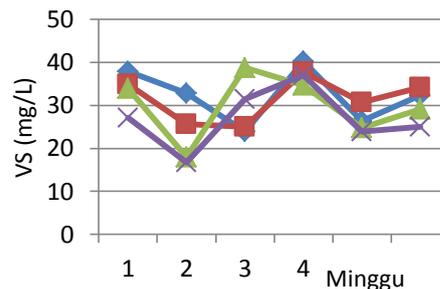
**Pengaruh volatile solid terhadap pembentukan volatile fatty acid (VFA) sebagai asam asetat**

Volatile fatty acid (VFA) merupakan salah satu parameter seberapa besar bahan organik dapat diurai menjadi materi yang lebih sederhana. Pada penelitian ini, setelah dilakukan analisis volatile fatty acid, ternyata tidak semua tercatat konsentrasi asam propionate dan butirir dalam tiap minggunya. Pemecahan atau degradasi asam butirir dan asam propionate terjadi secara parallel atau secara berurutan dengan terbentuknya asam

asetat. Jadi, dianggap semua bahan organik langsung didegradasi menjadi asam asetat.



Gambar 4. Konsentrasi asam asetat pada tiap digester dengan %VS yang berbeda pada tiap digester



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi volatile solid pada produksi volatile fatty acid (VFA) sebagai asam asetat dari beberapa digester

Kegagalan proses methanogenesis disebabkan ketidakseimbangan antara populasi bakteri acetogenik dengan bakteri methanogenic. Pada fase acetogenic, terjadi akumulasi asam asetat yang membuat bakteri asam masih bisa bertahan hidup dalam suasana asam dalam digester. Hasil pengukuran parameter total volatile fatty acid memperlihatkan adanya peningkatan pada bagian tersuspensi yang menunjukkan berlangsungnya proses acetogenic yang menghasilkan asam lemak lebih cepat daripada proses methanogenesis. Akumulasi terbentuknya asam-asam lemak inilah yang menyebabkan turunnya pH digester, sehingga proses methanogenesis terhambat.

**Pengaruh limonen terhadap pembentukan metana**

Pengaruh limonen terhadap pembentukan metana tersaji pada gambar 3, menunjukkan bahwa pada konsentrasi limonen yang lebih kecil akan menghasilkan metana yang lebih besar. Resistensi bakteri terhadap senyawa antimikrobal terjadi ketika bakteri dapat merubah diri sedemikian rupa hingga dapat mengurangi efektifitas, sehingga tetap dapat hidup dan bereproduksi. Pada proses pengolahan kulit jeruk dengan potensi limonen sebagai senyawa antimikrobal menjadi biogas, bakteri hidrolitik dan acidogen, masih mampu bertahan hidup dengan adanya limonen. Sifat limonen yang memberikan efek asam dan

menurunkan pH digester, menyebabkan terjadinya akumulasi asam-asam volatile pada vase *acetogenic* yang menyebabkan terganggunya bakteri *methanogen*. Bakteri *methanogen* tidak cukup resisten terhadap akumulasi asam asetat dan sifat antimikrobal limonen. Kegagalan proses methanogenesis disebabkan oleh ketidakseimbangan antara populasi bakteri *acetogenic* dengan bakteri *methanogen*.

#### Pengaruh limonen pada produksi asam asetat

Pada gambar 4 ditunjukkan bahwa pada konsentrasi *volatile solid* yang sama, tetapi memiliki konsentrasi limonen berbeda, maka produksi asam asetat selama proses anaerobic akan mempunyai kecenderungan yang sama. Terjadi peningkatan produk asam asetat pada minggu I sampai dengan minggu ke III, dan selanjutnya akan terjadi penurunan konsentrasi asam asetat pada minggu ke IV. Pada minggu II konsentrasi metana sudah turun, tetapi akumulasi pembentukan asam asetat masih mengalami kenaikan.

#### KESIMPULAN

1. Pembentukan akumulasi *volatile fatty acid* (VFA) sebagai asam asetat dipengaruhi oleh konsentrasi kulit jeruk/limonen yang ada di dalam digester. Digester dengan VS yang sama tetapi memiliki konsentrasi kulit jeruk/limonen yang berbeda, maka akumulasi asam asetat akan lebih besar pada konsentrasi kulit jeruk/limonen yang lebih besar.
2. Konsentrasi metana dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi kulit jeruk/limonene dalam digester, semakin besar konsentrasi kulit jeruk/limonene dalam digester maka semakin kecil konsentrasi metana yang didapat.
3. Konsentrasi metana dipengaruhi oleh besarnya *volatile solid*. Pada *volatile solid* yang lebih kecil, diperoleh metana yang lebih besar.
4. Pembentukan akumulasi biogas dipengaruhi konsentrasi *volatile solid*. Semakin besar konsentrasi *volatile solid*, maka pembentukan akumulasi gas lebih besar.

#### DAFTAR PUSTAKA

Aiba, S., Humphrey, A. E., Millis, N. F., 1973, "Biochemical Engineering", Edisi 2, University of Tokyo Press, Tokyo.

Bailey, J. E., 1986, "Biochemical Engineering Fundamental", Edisi 2, McGraw-Hill Book Co, New York.

Bevi Lidya, Nancy Siti Djenar, 2000, "Dasar Bioproses" Direktorat Pembinaan Penelitian pada Masyarakat, Direktorat Jenderal

Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.

Brauer, H., Rehm, H. J., and Reed, G., 1985, "Fundamentals of Biochemical Engineering In: Biotechnology".

Briley, J. E. and Ollis, D. F., 1986, "Biochemical Engineering Fundamentals, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, New York

Bruce E. Rittmann, Perry L. McCarty, 2001, "Environmental Biotechnology: Principle and Application, McGraw-Hill, New York.

Fillisson Falk A, Bard J, Karlsson, S, 1998, "Limonene", Concise International Chemical Assessment Document 5, World Health Organization, Geneva.

Helen A. Stafford, Ragai K. Ibrahim, 1991, "Phenolic Metabolism in Plants", vol 26, Plenum Press, New York.

Murray Moo-Young, 1985, "Comprehensive Biotechnology, The Principle, Applications & Regulations of Biotechnology in Industry, Agriculture and Medicine", Volume 1, Pergamon Press, New York.

Murray Moo-Young, 1985, "Comprehensive Biotechnology, The Principle, Applications & Regulations of Biotechnology in Industry, Agriculture and Medicine", Volume 4, Pergamon Press, New York.

Nielsen, J. and Villadsen, J., 1993, "Modelling of Mikrobial Kinetics, Chem Eng Sci, 47:4225-4270.

Nielsen, J. and Villadsen, J., 1994, "Bioreaction Engineering Principle", Plenum Press, New York.

Palmisano Anna C., Barlaz Morton, A., 1996, "Microbiology of Solid Waste" CRC Press, New York.

Pelczar, M. J. and Chan E. C. S., 1986, "Dasar – Dasar Mikrobiologi 1", Universitas Indonesia, Jakarta.

Ramawat, K.G., and Merillon, J.M., 1999, "Biotechnology, Secondary Metabolites", Science Publisher Inc, Plymouth, UK

Rittmann, B. E., and McCarty P. L., 2001, "Environmental Biotechnology: Principle and Applications", McGraw – Hill Companies, Inc, 1221 Avenue of the Americas, New York, Amerika.

Trevor Robinson, 1991, "The Organic Constituents of Higher Plants", Departemen of Biochemistry University of Massachusetts Amherst.

Wikantyo Boma, 1989, "Kursus singkat Penanganan limbah Secara Hayati", PAU Bioteknologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.