

ISSN (p) : 2302-559X  
ISSN (e) : 2549-0818



# Teknik Pertanian Lampung JURNAL

Vol. 8, No. 3, September 2019



SK Dirjen DIKTI No : 21/E/KPT/2018



Jurnal Teknik  
Pertanian Lampung

Volume  
8

No.  
3

Hal  
153-233

Lampung  
September 2019

(p) 2302-559X  
(e) 2549-0818

Published by: Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Jurnal Teknik Pertanian (J-TEP) merupakan publikasi ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian, pengembangan, kajian atau gagasan dalam bidang keteknikan pertanian. Lingkup penulisan karya ilmiah dalam jurnal ini antara lain: rekayasa sumber daya air dan lahan, bangunan dan lingkungan pertanian, rekayasa bioproses dan penanganan pasca panen, daya dan alat mesin pertanian, energi terbarukan, dan system kendali dan kecerdasan buatan dalam bidang pertanian. Mulai tahun 2019, J-TEP terbit sebanyak 4 (empat) kali dalam setahun pada bulan Maret, Juni, September, dan Desember. Sejak tahun 2018, J-TEP mendapatkan terakreditasi SINTA 3 berdasarkan SK Dirjen Dikti No.21/E/KPT/2018. J-TEP terbuka untuk umum, peneliti, mahasiswa, praktisi, dan pemerhati dalam dunia keteknikan pertanian.

**Chief Editor**

Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P

**Reviewer**

Prof. Dr. Ir, R.A. Bustomi Rosadi, M.S. (Universitas Lampung)

Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T (Universitas Lampung)

Prof. Dr. Indarto, S.TP., DEA (Universitas Jember)

Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc. (Universitas Lampung)

Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si (Universitas Islam Indonesia)

Dr. Diding Suhandy, S.TP., M.Agr (Universitas Lampung)

Dr. Sri Waluyo, S.TP, M.Si (Universitas Lampung)

Dr. Ir. Sigit Prabawa, M.Si (Universitas Negeri Sebelas Maret)

Dr. Eng. Dewi Agustina Iriani, S.T., M.T (Universitas Lampung)

Dr. Slamet Widodo, S.TP., M.Sc (Institut Pertanian Bogor)

Dr. Ir. Agung Prabowo, M.P (Balai Besar Mekanisasi Pertanian)

Dr. Kiman Siregar, S. TP., M.Si (Universitas Syah Kuala)

Dr. Ansar, S.TP., M.Si (Universitas Mataram)

Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc. (Universitas Lampung)

**Editorial Boards**

Dr. Warji, S.TP, M.Si

Cicik Sugianti, S.TP, M.Si

Elhamida Rezkia Amien S.TP, M.Si

Winda Rahmawati S.TP, M.Si

Febryan Kusuma Wisnu, S. TP, M.Sc

Enky Alvenher, S.TP

Jurnal Teknik Pertanian diterbitkan oleh Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.

---

**Alamat Redaksi J-TEP:**

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Jl. Soemantri Brodjonegoro No.1, Telp. 0721-701609 ext. 846

Website :<http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP>

Email :[jurnal\\_tep@fp.unila.ac.id](mailto:jurnal_tep@fp.unila.ac.id) dan [ae.journal@yahoo.com](mailto:ae.journal@yahoo.com)

## **PENGANTAR REDAKSI**

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah yang Maha Kuasa, Jurnal Teknik Pertanian (J-TEP) Volume 8 No 3, bulan September 2019 dapat diterbitkan. Pada edisi kali ini dimuat 8 (delapan) artikel dimana salah satu artikel pada volume ini berbahasa Inggris yang merupakan karya tulis ilmiah dari berbagai bidang kajian dalam dunia Keteknikan Pertanian yang meliputi prototipe unit perontok jagung, variasi digester anaerobik, analisis performa fluida pada model ORC, karakterisasi pelet pupuk organik berbahan *slurry*, analisis perubahan penggunaan lahan di DAS Air Dingin, pengaruh ketinggian tempat dan metode pengeringan pada tanaman pegagan, *exploration of soil spectral reflectance*, dan potensi biogas dari rekayasa aklimatisasi.

Pada kesempatan kali ini kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para penulis atas kontribusinya dalam Jurnal TEP dan kepada para reviewer/penelaah jurnal ini atas peran sertanya dalam meningkatkan mutu karya tulis ilmiah yang diterbitkan dalam edisi ini.

Akhir kata, semoga Jurnal TEP ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang keteknikan pertanian.

**Editorial J TEP-Lampung**

Daftar isi

Pengantar Redaksi

|  |         |
|--|---------|
| PROTOTYPE UNIT PERONTOK JAGUNG UNTUK MESIN PEMANEN JAGUNG<br>KOMBINASI<br><i>Diang Sagita, Radite Praeko Agus Setiawan, Wawan Hermawan</i>   | 153-163 |
| VARIASI DIGESTER ANAEROBIK TERHADAP PRODUKSI BIOGAS PADA<br>PENANGANAN LIMBAH CAIR PENGOLAHAN KOPI<br><i>Elida Novita, Hendra Andiananta Pradana, Sri Wahyuningsih, Bambang<br/>Marhaenanto, Moh. Wawan Sujarwo, Moh. Salman A. Hafids</i> | 164-174 |
| ANALISIS PERFORMA FLUIDA KERJA PADA MODEL <i>ORGANIC RANKIE<br/>CYCLE</i> (ORC) DENGAN SUMBER PANAS ENERGI BIOMASSA<br><i>Lilis Sucahyo, Muhamad Yulianto, Edy Hartulistiyoso, Irham Faza</i>  | 175-186 |
| KARAKTERISASI PELET PUPUK ORGANIK BERBAHAN <i>SLURRY</i> LIMBAH CAIR<br>PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI PUPUK <i>SLOW RELEASE</i><br><i>Reni Astuti Widyowanti, Nuraeni Dwi Dharmawati, Etty Sri Hertini, Rengga<br/>Arnalis Renjani</i>       | 187-197 |
| ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS)<br>AIR DINGIN DAN DAMPAKNYA TERHADAP ALIRAN PERMUKAAN<br><i>Rio Valery Allen, Rusnam, Feri Arlius, Revalin Herdianto</i>  | 198-207 |
| PENGARUH KETINGGIAN TEMPAT TUMBUH DAN METODE PENGERINGAN<br>TERHADAP ORGANOLEPTIC DAN KADAR ASIATIKOSID PEGAGAN ( <i>Centella<br/>asiatica</i> (L) Urb)<br><i>Devi Safrina, Endang Brotojoyo, Inas Kamila</i>                              | 208-213 |
| EXPLORATION OF SOIL SPECTRAL REFLECTANCE CHARACTERISTICS<br>RELATING TO THE SOIL ORGANIC MATTER CONTENT<br><i>S. Virgawati, M. Mawardi, L. Sutiarso, S. Shibusawa, H. Segah, M. Kodaira</i>  | 214-223 |
| POTENSI BIOGAS DARI REKAYASA AKLIMATISASI BIOREAKTOR AKIBAT<br>PERUBAHAN SUBSTRAT PADA INDUSTRI BIOETHANOL<br><i>Jufli Restu Amelia, Udin Hasanudin, Erdi Suroso</i>   | 224-233 |

## PEDOMAN PENULISAN ARTIKEL BAGI PENULIS

- 1) **Naskah:** Redaksi menerima sumbangan naskah/tulisan ilmiah dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, dengan batasan sebagai berikut :
  - a. Naskah diketik pada kertas ukuran A4 (210mm x 297mm) dengan 2 spasi dan ukuran huruf Times New Roman 12pt. Jarak tepi kiri, kanan, atas, dan bawah masing-masing 3 cm. Panjang naskah tidak melebihi 20 halaman termasuk abstrak, daftar pustaka, tabel dan gambar. **Semua tabel dan gambar ditempatkan terpisah pada bagian akhir naskah (tidak disisipkan dalam naskah)** dengan penomoran sesuai dengan yang tertera dalam naskah. Naskah disusun dengan urutan sebagai berikut: Judul; Nama Penulis disertai dengan catatan kaki tentang instansi tempat bekerja; Pendahuluan; Bahan dan Metode; Hasil dan Pembahasan; Kesimpulan dan Saran; Daftar Pustaka; serta Lampiran jika diperlukan. Template penulisan dapat didownload di <http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP>
  - b. **Abstrak (Abstract)** dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, tidak lebih dari 200 kata. Mengandung informasi yang tertuang dalam penulisan dan mudah untuk dipahami. Ringkasan (abstract) harus memuat secara singkat latar belakang, tujuan, metode, serta kesimpulan dan yang merupakan *high light* hasil penelitian.
  - c. **Pendahuluan:** memuat latar belakang masalah yang mendorong dilaksanakannya perekayasaan dan penelitian, sitasi dari temuan-temuan terdahulu yang berkaitan dan relevan, serta tujuan perekayasaan atau penelitian.
  - d. **Bahan dan Metoda:** secara jelas menerangkan bahan dan metodologi yang digunakan dalam perekayasaan atau penelitian berikut dengan lokasi dan waktu pelaksanaan, serta analisis statistik yang digunakan. Rujukan diberikan kepada metoda yang spesifik.
  - e. **Hasil dan Pembahasan:** Memuat hasil-hasil perekayasaan atau penelitian yang diperoleh dan kaitannya dengan bagaimana hasil tersebut dapat memecahkan masalah serta implikasinya. Persamaan dan perbedaannya dengan hasil perekayasaan atau penelitian terdahulu serta prospek pengembangannya. Hasil dapat disajikan dengan menampilkan gambar, grafik, ataupun tabel.
  - f. **Kesimpulan dan Saran:** memuat hal-hal penting dari hasil penelitian dan kontribusinya untuk mengatasi masalah serta saran yang diperlukan untuk arah perekayasaan dan penelitian lebih lanjut.
  - g. **Daftar Pustaka:** disusun secara alfabetis menurut penulis, dengan susunan dan format sebagai berikut: Nama penulis didahului nama family/nama terakhir diikuti huruf pertama nama kecil atau nama pertama. Untuk penulis kedua dan seterusnya ditulis kebalikannya. Contoh:
    - Kepustakaan dari Jurnal:  
Tusi, Ahmad, dan R.A. Bustomi Rosadi. 2009. *Aplikasi Irigasi Defisit pada Tanaman Jagung*. Jurnal Irigasi. 4(2): 120-130.
    - Kepustakaan dari Buku:  
Keller, J, and R.D. Bleisner. 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. AVI Publishing Company Inc. New York, USA.
  - h. **Satuan:** Satuan harus menggunakan system internasional (SI), contoh : m (meter), N (newton), °C (temperature), kW dan W (daya), dll.
- 2) **Penyampaian Naskah:** Naskah/karya ilmiah dapat dikirimkan ke alamat dalam bentuk *soft copy* ke :  
**Redaksi J-TEP (Jurnal Teknik Pertanian Unila)**  
Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian  
Universitas Lampung  
Jl. Sumantri Brodjonegoro No. 1  
Telp. 0721-701609 ext. 846  
Website : <http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP>  
Email : [ae.journal@yahoo.com](mailto:ae.journal@yahoo.com)
- 3) Selama proses penerimaan karya ilmiah, penelaahan oleh Reviewer, sampai diterimanya makalah untuk diterbitkan dalam jurnal akan dikonfirmasi kepada penulis melalui email.
- 4) Reviewer berhak melakukan penilaian, koreksi, menambah atau mengurangi isi naskah/tulisan bila dianggap perlu, tanpa mengurangi maksud dan tujuan penulisan.

## POTENSI BIOGAS DARI PROSES REKAYASA AKLIMATISASI BIOREAKTOR AKIBAT PERUBAHAN SUBSTRAT PADA INDUSTRI BIOETHANOL

### ***BIOGAS POTENTIAL FROM BIOREACTOR ACCLIMATIZATION PROCESS DUE TO SUBSTRATE CHANGE IN BIOETHANOL INDUSTRY***

Julfi Restu Amelia<sup>1✉</sup>, Udin Hasanudin<sup>2</sup>, Erdi Suroso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknologi Pangan, Universitas Sahid Jakarta

<sup>2</sup>Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lampung

✉Komunikasi Penulis, email: fiamel2702@gmail.com

DOI:http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv8.i3.224-233

Naskah ini diterima pada 7 Agustus 2019; revisi pada 29 Agustus 2019;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 29 Agustus 2019

#### **ABSTRACT**

*Production of bioethanol from biomass is one way to reduce environmental pollution and consumption of crude oil. The most common bioethanol is derived from cassava and molasses with multiple feedstock system. Bioethanol industry produces not only ethanol as the main product, but also generates a huge amount of liquid waste. Cassava ethanol wastewater is called thinslop and sugarcane molasses-based bioethanol wastewater is called vinasse. The process of changing the substrate from thinslop to vinasse will cause changes in the load of microorganisms in decomposing organic matter. The purpose of the research was to obtain biogas production due to acclimatization process of substrate change. The research used three CSTR bioreactors with a capacity of 50 L each with different substrate composition, namely 50% thinslop and 50% vinasse; 25% thinslop and 75% vinasse, and 100% vinasse, with different loads at each week (0.5 g/L/day, 1.0 g/L/day, 1.5 g/L/day, and 2.0 g/L/day). Results showed that biogas potential value of the first bioreactor (50% thinslop:50% vinasse), the second bioreactor (25% thinslop:75% vinasse), and the third bioreactor (100% vinasse) was 39.39 L/day, 38.97 L/day, 27.23 L/day, respectively. The results also showed that methane gas content of the first bioreactor, the second bioreactor, and the third bioreactor (100% vinasse) was about 32.67-52.81%, 40.29-67.29%, and 20.46-57.33%, respectively.*

**Keywords:** *acclimatization, bioethanol, bioreactor, cassava, molasses*

#### **ABSTRAK**

Produksi bioetanol dari bahan baku biomassa merupakan salah satu cara mengurangi polusi lingkungan dan konsumsi terhadap minyak mentah. Salah satu cara memproduksi bioethanol adalah menggunakan produk turunan dari singkong dan tetes tebu dengan menggunakan teknik proses *multiple feedstock system*. Industri bioethanol tidak hanya memproduksi produk utama berupa etanol, tetapi juga menghasilkan air limbah dalam jumlah besar. Air limbah bioethanol berbahan baku singkong disebut *thinslop*, sedangkan air limbah bioethanol berbahan baku tetes tebu disebut *vinasse*. Adanya proses perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse* akan menyebabkan perubahan beban mikroorganisme dalam penguraian bahan organik. Tujuan dari penelitian yakni untuk mengukur potensi produksi biogas dari proses rekayasa aklimatisasi perubahan substrat. Penelitian menggunakan tiga bioreaktor CSTR kapasitas 50 L dengan tiga perlakuan campuran substrat, yaitu 50% *thinslop* dan 50% *vinasse*; 25% *thinslop* dan 75% *vinasse*, dan 100% *vinasse*, dengan laju pembebanan berbeda setiap minggu (0,5 g/L/hari; 1,0 g/L/hari; 1,5 g/L/hari; dan 2,0 g/L/hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai potensial biogas dari bioreaktor pertama (50% *thinslop*: 50% *vinasse*), bioreaktor kedua (25% *thinslop*: 75% *vinasse*), dan bioreaktor ketiga (100% *vinasse*) berturut-turut yakni 39,39 L/hari, 38,97 L/hari 27,23 L/hari. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kandungan gas metana secara berturut-turut dari bioreaktor pertama, bioreaktor kedua, dan bioreaktor ketiga adalah 32,67-52,81%; 40,29-67,29%; dan 20,46-57,33%.

**Kata kunci :** *aklimatisasi, bioethanol, bioreaktor, singkong, tetes tebu*

## I. PENDAHULUAN

Cadangan bahan bakar fosil sebagai energi semakin lama semakin terbatas dan harganya semakin mahal. Hal tersebut mendesak peneliti untuk mengembangkan bahan bakar energi yang ramah lingkungan berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Bioetanol merupakan salah satu bahan bakar nabati yang berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui seperti tetes tebu/molases, ubikayu, dan lain-lain. Bioetanol digunakan sebagai pengganti bensin sebagai bahan bakar transportasi, meskipun saat ini penggunaan bahan tersebut masih dicampur dengan bensin seperti E10 dan E20 (10% dan 20% etanol dicampur dengan 90 dan 80% (Ibeto et al, 2011). Produksi bioetanol skala industri dengan sistem *multiple feedstock* pada umumnya menggunakan dua jenis bahan baku yaitu ubi kayu dan *molasses*. Hal tersebut menyebabkan mesin produksi industri dirancang mampu memproduksi dengan menggunakan bahan baku yang berbeda.

Industri bioetanol selain menghasilkan etanol sebagai produk utama, juga menghasilkan hasil samping berupa air limbah. Etanol yang diproduksi akan menghasilkan air limbah sebesar 20 liter per liter etanol. Air limbah bioetanol pada umumnya mempunyai pH rendah, suhu tinggi, warna coklat kehitaman, dan tingginya kadar abu serta persentase bahan organik dan anorganik terlarut. Nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) air limbah ini berkisar 35.000-50.000 mg/L dan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkisar 100.000-150.000 mg/L (Kuiper et al, 2007). Air limbah bioetanol berbahan baku ubi kayu disebut dengan *thinslop*. Air limbah *thinslop* dihasilkan sebesar 146% dari bahan baku. *Thinslop* merupakan limbah bioetanol yang memiliki pH rendah sebesar 4,30-4,80 karena berasal dari tangki asidifikasi IPAL industri bioetanol yang banyak mengandung asam-asam organik volatil yang diproduksi oleh bakteri-bakteri pembentuk asam. *Thinslop* memiliki kandungan COD berkisar 35.000-50.000 ppm (Medco, 2007). Proses pembuatan biogas dari *thinslop* telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan *thinslop* yang masuk ke dalam reaktor dengan beban COD sebesar 35.000 kg/hari dengan penyisihan COD sebesar 88,3%, menghasilkan potensi biogas sebesar 16.265,79

m<sup>3</sup>/hari atau sebesar 5.937.013,3 m<sup>3</sup>/tahun (Maryanti, 2011). Air limbah yang ditimbulkan oleh industri bioetanol berbahan baku *molasses* disebut dengan *vinasse*. Limbah *vinasse* yang dihasilkan sebesar 320% dari bahan baku. *Vinasse* memiliki kandungan COD yang cukup tinggi. Etanol yang diproduksi akan menghasilkan air limbah berkisar 17-25 liter dengan nilai kebutuhan oksigen kimia (COD) yaitu sebesar 80.000-100.000 mg/L (Ali, 2002). Penelitian yang dilakukan adalah melakukan perubahan substrat untuk mendapatkan biogas yang optimal. Proses perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse* akan menyebabkan terjadinya perubahan beban mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik. Hal tersebut akan mempengaruhi proses fermentasi dalam memproduksi metana. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian proses aklimatisasi perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse* untuk mengoptimalkan produksi biogas. Tujuan penelitian yakni mengukur potensi biogas dari proses rekayasa aklimatisasi bioreaktor akibat perubahan substrat pada industri bioethanol

## II. BAHAN DAN METODE

Penelitian menggunakan tiga bioreaktor dengan kapasitas masing-masing sebesar 50 L. Perlakuan masing-masing bioreaktor dibedakan menjadi pemberian jumlah *vinasse* (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, 25% *thinslop* dan 75% *vinasse*, dan 100% *vinasse*) pada masing-masing tank dengan jumlah *load* yang berbeda tiap minggunya (0,5 g/L/hari, 1,0 g/L/hari, 1,5 g/L/hari, dan 2,0 g/L/hari). Parameter yang diamati adalah volume biogas dan konsentrasi gas metana.

Peralatan yang digunakan adalah bioreaktor tipe *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan kapasitas 50 L, *gasflow* meter, *gas sampler bag*, pH meter HM-20P, neraca analitik, desikator, *furnace* model EPTR-13K, reaktor unit DRB200, HACH spektrofotometer DR/4000U, gas chromatography, serta alat-alat analisa lainnya. Bahan yang digunakan pada penelitian adalah *thinslop*, *vinasse*, dan *sludge* dari PT Medco Etanol Lampung, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, HgSO<sub>4</sub>, Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, buffer 4 & 6, gas N<sub>2</sub>, aquades, aquabides, tisu, label, aluminium foil, dan bahan analisa lainnya.

### 2.1. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian awal yang dilakukan adalah menentukan karakterisasi air limbah segar industri bioetanol berupa *sludge*, *thinslop*, dan *vinasse* dianalisa nilai pH, COD, *Total Suspended Solid* (TSS), dan *Volatil Suspended Solid* (VSS). Penelitian selanjutnya adalah melakukan proses aklimatisasi. Air limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu yang berasal dari PT Medco Etanol Lampung akan difermentasi dalam bioreaktor berpengaduk dengan kapasitas 50 Liter (bioreaktor I, II dan III. Limbah berupa *sludge* dimasukan ke dalam masing-masing bioreaktor. Jumlah limbah yang dimasukkan ke dalam masing-masing bioreaktor sebesar 14,5 L. Penambahan *thinslop* sebesar 1 L per hari dilakukan sampai dengan pH stabil. Apabila terjadi penurunan pH, maka akan ditambahkan *sludge*. Perlakuan penambahan *vinasse* dapat dimulai bila pH limbah keluaran dari dalam bioreaktor telah stabil pada nilai 6.5-7.5 setiap harinya. Perlakuan masing-masing bioreaktor dibedakan menjadi pemberian jumlah *vinasse* (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, 25% *thinslop* dan 75% *vinasse*, dan 100% *vinasse*) pada masing-masing reaktor dengan jumlah load yang

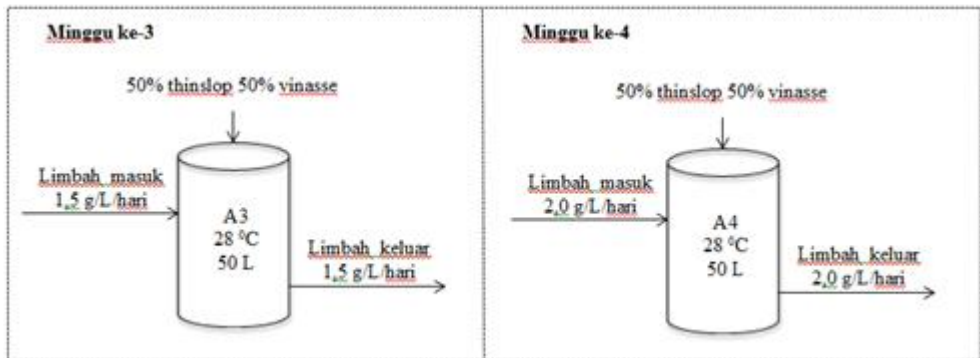
berbeda tiap minggunya (0,5 g/L/hari, 1 g/L/hari, 1,5 g/L/hari, dan 2 g/L/hari).

Bioreaktor I dilakukan perlakuan penambahan 50 % *vinasse* dan 50% *thinslop* dengan load yang berbeda tiap minggunya. Kapasitas bioreaktor adalah 50 Liter. Setiap hari akan dikeluarkan air limbah dari dalam bioreaktor dengan penggantian limbah baru sebanyak limbah yang dikeluarkan. Minggu pertama, dilakukan load sebesar 0,5 g/L/hari, minggu kedua sebesar 1 g/L/hari, minggu ketiga 1,5 g/L/hari, dan pada minggu ke 4 sebesar 2 g/L/hari. Skema gambar bioreaktor I terdapat pada Gambar 1 dan 2.

Bioreaktor II dilakukan perlakuan penambahan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* dengan load yang berbeda tiap minggunya. Kapasitas bioreaktor adalah 50 Liter setiap hari akan dikeluarkan air limbah dari dalam bioreaktor dengan penggantian limbah baru sebanyak limbah yang dikeluarkan. Minggu pertama, dilakukan load sebesar 0,5 g/L/hari, minggu kedua sebesar 1 g/L/hari, minggu ketiga 1,5 g/L/hari, dan pada minggu ke 4 sebesar 2 g/L/hari. Skema bioreaktor II terdapat pada Gambar 3 dan 4.

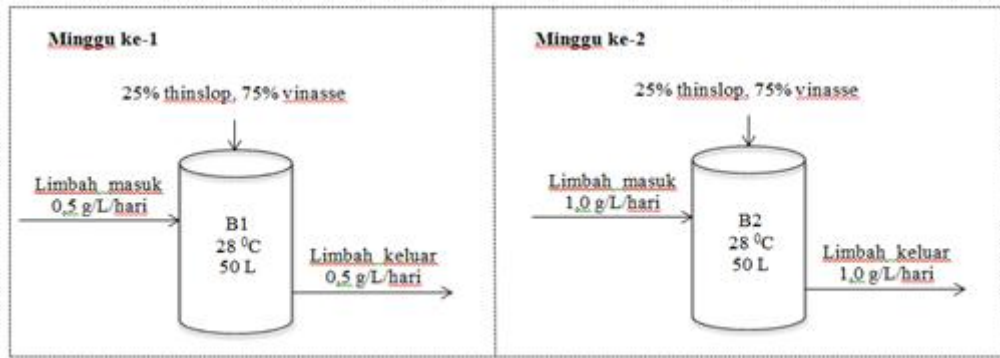


Gambar 1. Bioreaktor I Minggu ke-1 dan Minggu ke-2



Gambar 2. Bioreaktor I Minggu ke-3 dan Minggu ke-4





Gambar 3. Bioreaktor II Minggu ke-1 dan Minggu ke-2



Gambar 4. Bioreaktor II Minggu ke-3 dan Minggu ke-4

Bioreaktor III dilakukan perlakuan penambahan 100% *vinasse* dengan *load* yang berbeda juga tiap minggunya. Kapasitas bioreaktor adalah 50 Liter setiap hari akan dikeluarkan air limbah dari dalam bioreaktor dengan penggantian limbah baru sebanyak limbah yang dikeluarkan. Minggu pertama, dilakukan *load* sebesar 0,5 g/L/hari, minggu kedua sebesar 1 g/L/hari, minggu ketiga 1,5 g/L/hari, dan pada minggu ke 4 sebesar 2 g/L/hari. Skema bioreaktor III terdapat pada Gambar 5 dan 6.

## 2.2. Pengamatan

### 2.2.1. Pengukuran Volume Gas

Pengukuran produksi biogas menggunakan gas meter. Hasil yang ditunjukkan oleh gas meter dicatat ke dalam lembar data setiap hari. Volume biogas didapat dengan cara mengurangi pencatatan hari ini dengan pencatatan hari sebelumnya (Shinagawa corporation, 2006).

### 2.2.2. Pengukuran Konsentrasi Gas Metana

Pengukuran konsentrasi gas methane dilakukan dengan cara menampung biogas yang terbentuk pada bioreaktor ke dalam gas sampler kemudian

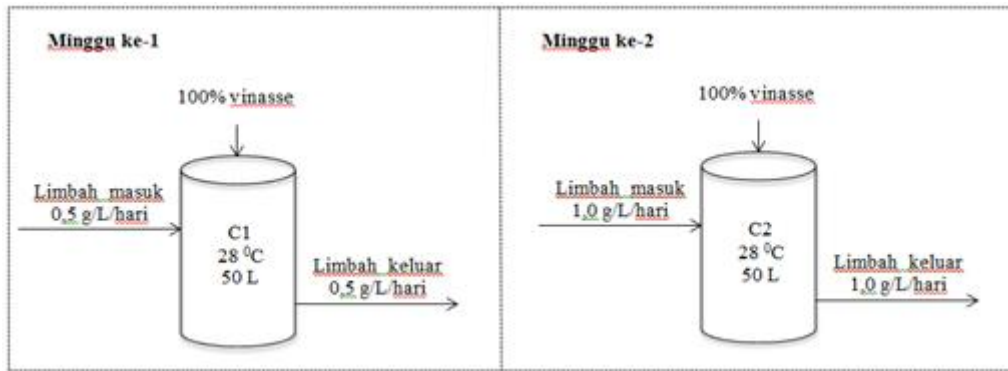
sampel gas dianalisa dengan menggunakan Gas Chromathography (GC) untuk mengetahui jenis gas yang ada serta konsentrasinya (Shimadzu Corporation, 2004).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Karakterisasi *Sludge*, *Thinslop*, dan *Vinasse*

#### 3.1.1. Karakterisasi *Sludge* dan Air Limbah Segar Industri Bioetanol (*Thinslop* dan *Vinasse*)

*Sludge* merupakan lumpur yang berasal dari sistem pengolahan secara anaerobik. *Sludge* mengandung bakteri metanogenik, sehingga cukup baik dan cocok untuk material bibit bagi pengoperasian awal reaktor anaerobik. *Sludge* yang digunakan pada penelitian memiliki karakteristik seperti disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa *sludge* memiliki nilai TSS (*Total Suspended Solid*) yang tinggi, yaitu 9.122 mg/L. *Suspended solid* merupakan lumpur yang tersusun dari bahan organik dan anorganik yang terakumulasi di dalam bioreaktor yang merupakan sumber makanan



Gambar 5. Bioreaktor III Minggu ke-1 dan Minggu ke-2



Gambar 6. Bioreaktor III Minggu ke-3 dan Minggu ke-4

Tabel 1. Karakteristik *Sludge*

| Parameter | Satuan | Jumlah |
|-----------|--------|--------|
| pH        |        | 7,74   |
| COD       | mg/L   | 9.895  |
| TSS       | mg/L   | 9.122  |
| VSS       | mg/L   | 8.404  |

bagi bakteri metanogenik sehingga mampu menghasilkan gas metana yang optimal. Data TSS pada Table 1 menunjukkan bahwa sumber makanan bagi bakteri metanogenik tersedia dengan cukup sehingga diharapkan *sludge* memiliki aktifitas baik dan menghasilkan metana yang optimal. Tabel 1 menunjukkan kandungan pH *sludge* sebesar 7,74. Nilai pH tersebut sudah baik untuk pertumbuhan bakteri metanogenik, sehingga bakteri tersebut mampu mendegradasi bahan organik menjadi gas metana secara optimal. Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai VSS dari *sludge* cukup tinggi, yaitu 8.404 mg/L. Nilai VSS memiliki korelasi dengan jumlah mikroba. Hal tersebut menunjukkan bahwa *sludge* yang digunakan pada penelitian memiliki jumlah mikroba yang cukup untuk mendegradasi bahan organik di dalam bioreaktor. Air limbah segar industri bioetanol (*thinslop* dan *vinasse*) yang

digunakan pada penelitian memiliki karakteristik seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa *thinslop* dan *vinasse* memiliki nilai pH yang relatif asam. Hal tersebut terjadi karena *thinslop* dan *vinasse* memiliki kandungan asam-asam organik hasil fermentasi. Asam-asam organik akan dimanfaatkan bakteri metanogenik untuk pertumbuhan. Bakteri tersebut akan mengubah asam-asam organik menjadi karbondioksida dan metana. Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan COD *thinslop* berkisar 21.000-37.000 mg/L dan *vinasse* berkisar 60.000-105.000 mg/L. Nilai COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik yang terkandung di dalam air limbah. Data tersebut menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki

Tabel 2. Karakteristik Air Limbah Segar Industri Bioetanol (*Thinslop* dan *Vinasse*)

| Jenis Limbah    | Parameter | Nilai          | Satuan |
|-----------------|-----------|----------------|--------|
| <i>Thinslop</i> | pH        | 4,42-4,48      | -      |
|                 | COD       | 21.000-37.000  | mg/L   |
|                 | TSS       | 1.690-2.598    | mg/L   |
|                 | VSS       | 1.558-2.576    | mg/L   |
| <i>Vinasse</i>  | pH        | 4,99-5,00      | -      |
|                 | COD       | 60.000-105.000 | mg/L   |
|                 | TSS       | 3.410-4.810    | mg/L   |
|                 | VSS       | 2.852-4.130    | mg/L   |

kandungan COD hampir tiga kali lipat lebih tinggi jika dibandingkan dengan *thinslop*. Nilai tersebut menunjukkan *vinasse* memiliki potensi biogas yang lebih tinggi dibandingkan *thinslop*. Hal tersebut didasarkan bahwa 1 kg COD menghasilkan 0,35 m<sup>3</sup> gas metana (Siregar, 2010). Tabel 2 menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki nilai TSS dan VSS yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan *thinslop*. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki sumber nutrisi yang lebih banyak. Nutrisi tersebut akan digunakan oleh bakteri metanogenik untuk mendegradasi komponen-komponen organik yang terdapat di dalam bioreaktor.

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa *vinasse* memiliki jumlah air limbah yang lebih banyak jika dibandingkan dengan *thinslop*. *Vinasse* menghasilkan jumlah air limbah 320x dari bahan baku, sedangkan *thinslop* hanya menghasilkan air limbah 140x dari bahan baku. Selain itu, *vinasse* memiliki nilai COD 3 kali lipat lebih tinggi jika dibandingkan dengan *thinslop*. Nilai tersebut menunjukkan *vinasse* memiliki potensi biogas yang lebih tinggi dibandingkan *thinslop*. Jumlah air limbah *vinasse* yang dihasilkan lebih banyak dan memiliki kandungan COD yang relative tinggi mendasari dilakukannya penelitian pemanfaatan *vinasse*, yang mulai dilakukan dengan perlakuan 50%.

### 3.2. Aklimatisasi Tahap 1

Aklimatisasi merupakan suatu upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi dari suatu organisme terhadap substrat baru yang akan diberikan agar dapat digunakan sebagai inokulum yang baik. Proses aklimatisasi tahap pertama pada penelitian berlangsung selama 45 hari. Proses aklimatisasi tahap pertama pada penelitian merupakan tahap pencampuran

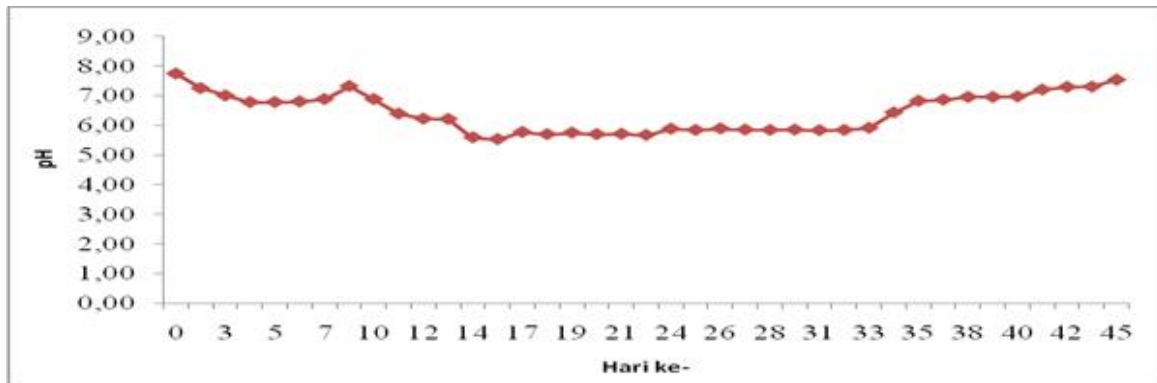
*sludge* dengan *thinslop*. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan pH, dari 6,78 sampai 5,67. Proses penurunan pH di dalam bioreaktor terjadi akibat pembebanan substrat. Proses penurunan pH terjadi hingga hari ke-33. Proses penurunan pH terjadi karena pada tahap awal fermentasi akan terbentuk asam-asam organik di dalam bioreaktor. Proses oksidasi yang lebih lambat dari proses pembentukannya akan menyebabkan konsentrasi asam organik akan meningkat dan mempengaruhi besarnya pH.

Proses penurunan pH akan mengakibatkan bakteri dalam bioreaktor tidak mampu mendegradasi bahan organik dalam air limbah. Nilai pH yang rendah akan mempengaruhi kemampuan bakteri metanogenik dalam bioreaktor. Hal tersebut disebabkan bakteri metanogenik hanya dapat hidup dan bekerja optimal pada pH berkisar 6,4-7,4. Derajat keasaman (pH) meningkat kembali pada hari ke-34. Hal tersebut terjadi karena dilakukan penambahan *sludge* (SP6). Proses penambahan *sludge* (SP6) dilakukan untuk meningkatkan kembali nilai pH, karena bahan tersebut memiliki pH yang cukup tinggi, yaitu 8,2. Proses aklimatisasi tahap pertama dianggap cukup apabila pH relatif konstan sekitar 7,0 (Hasanudin, 2007). Hasil pengukuran nilai pH aklimatisasi tahap pertama pada masing-masing bioreaktor dapat dilihat pada Gambar 7.

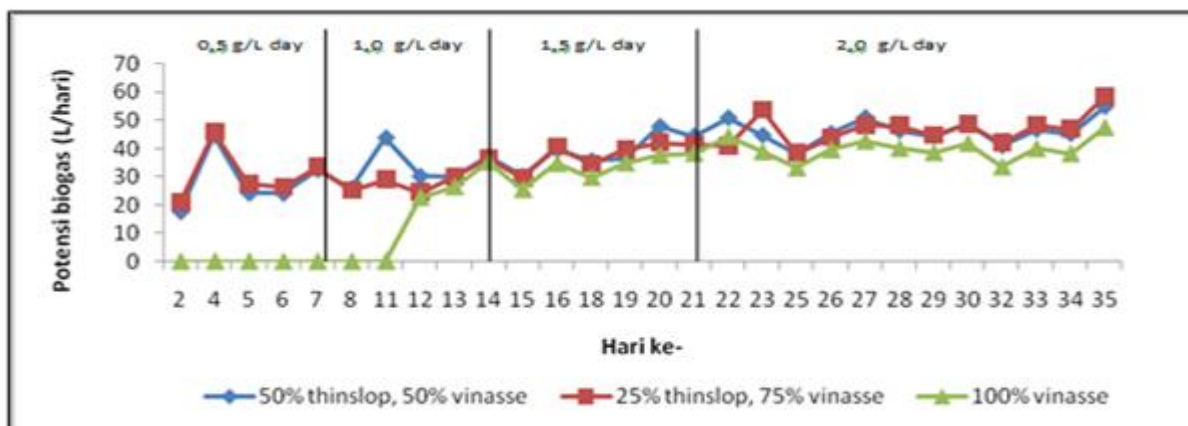
### 3.3. Aklimatisasi Tahap 2

#### 3.3.1. Potensi Biogas dan *Sludge Activity Index*

Proses degradasi secara anaerobik melibatkan sejumlah bakteri yang berbeda. Proses penguraian anaerobik dilakukan dengan



Gambar 7. Hasil Pengukuran Nilai pH Aklimatisasi Tahap Pertama



Gambar 8. Potensi Biogas untuk Bioreaktor I, Bioreaktor II, dan Bioreaktor III

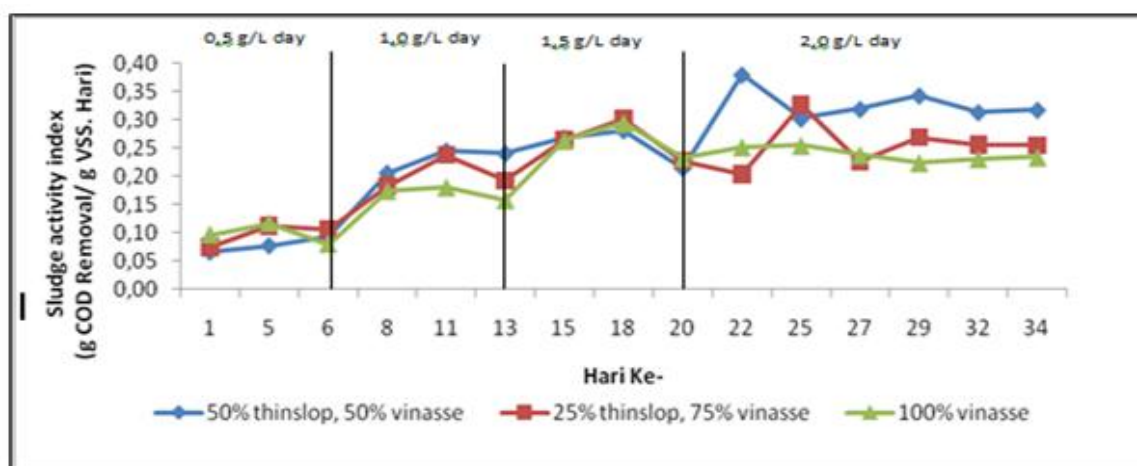
menggunakan dua tipe reaksi, yaitu asidogenesis dan metanogenesis. Proses pembentukan biogas dimulai dari tahap asidogenesis. Bahan organik diuraikan menjadi asam-asam volatil pada tahap tersebut. Asam-asam volatil dimetabolis menjadi metana dalam tahap berikutnya oleh bakteri metanogenik untuk menghasilkan gas metana yang merupakan salah satu komponen utama dari biogas. Potensi biogas diukur dengan menggunakan gas flow meter. Hasil pengukuran parameter tersebut ditunjukkan pada Gambar 8 dan Tabel 3. Bioreaktor I (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata 39,39 L/hari. Bioreaktor II (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata 38,97 L/hari. Bioreaktor III (100% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata 27,23 L/hari. Gambar 8 menunjukkan bahwa produksi biogas cenderung mengalami kenaikan yang berfluktuasi. Penggunaan *vinasse* 100% hanya menghasilkan produksi gas rata-rata sebesar 27,23 L/hari. Hal tersebut terjadi karena adanya kelebihan substrat yang diumpankan ke dalam bioreaktor, menyebabkan bakteri asidogenik dan asetogenik semakin aktif dan semakin cepat

tumbuh. Bahan organik yang dikonversi menjadi asam lemak semakin banyak dan menyebabkan terjadinya penurunan pH. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengamatan pH. Bioreaktor 3 dengan kandungan *vinasse* sebesar 100%, memiliki nilai pH terendah dibandingkan dengan bioreaktor lainnya. Derajat keasaman (pH) yang rendah menyebabkan bakteri metanogenik tidak dapat bekerja optimal. Hal tersebut mengakibatkan produksi biogas menurun walaupun penyisihan COD lebih besar. Hal tersebut menyebabkan ketidakseimbangan antara asidogenesis dan metanogenesis karena proses didominasi oleh proses asidogenik dan aktivitas metanogenik kurang baik di dalam sistem (Soeprijanto dkk., 2010).

*Sludge activity index* adalah hasil pengukuran kapabilitas dari mikroorganisme di dalam sludge untuk mendegradasi bahan organik yang terdapat di dalam air limbah. *Sludge* mengandung berbagai organisme biologis, yang biasanya termasuk bakteri, protozoa, dan rotifera. Bakteri membentuk suatu komunitas mikroorganism pada sludge (Kraigher et al, 2008). *Sludge activity*

Tabel 3. Hasil Pengukuran Potensi Biogas untuk Bioreaktor I, Bioreaktor II, dan Bioreaktor III

| Hari ke-      | Sampel                                      |   |                     | Satuan        |
|---------------|---|---|---------------------|---------------|
|               | 50% <i>Thinslop</i> ,<br>50% <i>Vinasse</i> | 25% <i>Thinslop</i> ,<br>75% <i>Vinasse</i> | 100% <i>Vinasse</i> |               |
| 2             | 17,604                                      | 20,803                                      | 0,010               | L/hari        |
| 4             | 44,888                                      | 45,852                                      | 0,087               | L/hari        |
| 5             | 24,115                                      | 27,520                                      | 0,000               | L/hari        |
| 6             | 24,055                                      | 26,432                                      | 0,000               | L/hari        |
| 7             | 32,525                                      | 33,483                                      | 0,000               | L/hari        |
| 8             | 25,855                                      | 25,170                                      | 0,000               | L/hari        |
| 11            | 43,895                                      | 29,085                                      | 0,000               | L/hari        |
| 12            | 30,225                                      | 24,660                                      | 22,620              | L/hari        |
| 13            | 30,055                                      | 29,973                                      | 26,365              | L/hari        |
| 14            | 37,255                                      | 36,472                                      | 35,185              | L/hari        |
| 15            | 30,210                                      | 29,570                                      | 25,505              | L/hari        |
| 16            | 39,655                                      | 40,740                                      | 34,660              | L/hari        |
| 18            | 35,750                                      | 34,575                                      | 29,740              | L/hari        |
| 19            | 36,545                                      | 39,755                                      | 34,825              | L/hari        |
| 20            | 47,905                                      | 42,100                                      | 37,575              | L/hari        |
| 21            | 44,480                                      | 41,600                                      | 38,255              | L/hari        |
| 22            | 50,950                                      | 41,010                                      | 44,175              | L/hari        |
| 23            | 44,775                                      | 53,775                                      | 38,855              | L/hari        |
| 25            | 38,033                                      | 38,445                                      | 33,078              | L/hari        |
| 26            | 45,425                                      | 43,930                                      | 39,560              | L/hari        |
| 27            | 51,030                                      | 48,365                                      | 42,575              | L/hari        |
| 28            | 46,460                                      | 48,205                                      | 40,045              | L/hari        |
| 29            | 44,415                                      | 44,750                                      | 38,515              | L/hari        |
| 30            | 48,635                                      | 48,675                                      | 41,760              | L/hari        |
| 32            | 41,043                                      | 42,063                                      | 33,535              | L/hari        |
| 33            | 46,780                                      | 48,550                                      | 39,930              | L/hari        |
| 34            | 45,310                                      | 46,985                                      | 38,095              | L/hari        |
| 35            | 54,970                                      | 58,585                                      | 47,380              | L/hari        |
| <b>Rerata</b> | <b>39,387</b>                               | <b>38,969</b>                               | <b>27,226</b>       | <b>L/hari</b> |



Gambar 9. Nilai *Sludge Activity Index* Efluen Air Limbah untuk Bioreaktor I, Bioreaktor II, dan Bioreaktor III

*index* dapat diukur dengan pengukuran rasio nilai COD removal/VSS. Hasil pengukuran *sludge activity index* untuk bioreaktor I (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*, bioreaktor II (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor III (100% *vinasse*) terdapat pada Gambar 9 dan Tabel 4.

Gambar 9 memperlihatkan nilai *sludge activity index* pada masing-masing bioreaktor. Bioreaktor I (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai *sludge activity index* rata-rata 0,24 g COD removal/(g VSS.hari). Bioreaktor II (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) memiliki nilai *sludge*

Tabel 4. Hasil Pengukuran *Sludge Activity Index* untuk Bioreaktor 1 (50% *Thinslop* dan 50% *Vinasse*, Bioreaktor 2 (25% *Thinslop* dan 75% *Vinasse*), dan Bioreaktor 3 (100% *Vinasse*)

| Hari ke-      | 50% <i>Thinslop</i> ,<br>50% <i>Vinasse</i> | 25% <i>Thinslop</i> ,<br>75% <i>Vinasse</i> | 100%<br><i>Vinasse</i> | Satuan                          |
|---------------|---|---|------------------------|---------------------------------|
| 1             | 0,07  | 0,07  | 0,10                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 5             | 0,08  | 0,11  | 0,12                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 6             | 0,09  | 0,11  | 0,08                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 8             | 0,21  | 0,18  | 0,17                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 11            | 0,24  | 0,24  | 0,18                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 13            | 0,24  | 0,19  | 0,16                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 15            | 0,27  | 0,26  | 0,26                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 18            | 0,28  | 0,30  | 0,29                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 20            | 0,21  | 0,23  | 0,23                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 22            | 0,38  | 0,20  | 0,25                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 25            | 0,30  | 0,33  | 0,25                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 27            | 0,32  | 0,23  | 0,24                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 29            | 0,34  | 0,27  | 0,22                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 32            | 0,31  | 0,26  | 0,23                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| 34            | 0,32  | 0,25  | 0,23                   | g COD removal/g VSS.hari        |
| <b>Rerata</b> | <b>0,24</b>                                 | <b>0,22</b>                                 | <b>0,20</b>            | <b>g COD removal/g VSS.hari</b> |

Tabel 5. Kandungan Gas Metana Bioreaktor 1 (50% *Thinslop* dan 50% *Vinasse*), Bioreaktor 2 (25% *Thinslop* dan 75% *Vinasse*), dan Bioreaktor (100% *Vinasse*)

| Minggu ke- | Load COD     | Bioreaktor I | Bioreaktor II | Bioreaktor III | Satuan |
|------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------|
| 2          | 1,0 g/L/hari | 29,488       | 40,073        | 19,499         | %      |
| 3          | 1,5 g/L/hari | 32,673       | 40,291        | 20,458         | %      |
| 4          | 2,0 g/L/hari | 52,814       | 67,292        | 57,343         | %      |

*activity index* rata-rata 0,22 g COD removal/(g VSS.hari). Bioreaktor III (100% *vinasse*) memiliki nilai *sludge activity index* rata-rata 0,20 g COD removal/(g VSS.hari). Menurut Waterleau, 2005, *index anaerobic sludge* yang baik memiliki nilai lebih dari 0,20 g COD removal/(g VSS.hari), sedangkan *anaerobic sludge* yang memiliki kualitas rata-rata memiliki nilai 0,10 -0,20 g COD removal/(g VSS.hari). Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa bioreaktor I dan bioreaktor II memiliki kualitas aktifitas *sludge yang* baik, sedangkan bioreaktor III memiliki kualitas rata-rata. Hal tersebut dapat dilihat bahwa terdapat kesulitan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik yang terdapat di dalam *vinasse*.

Gambar 9 juga memperlihatkan bahwa terdapat kenaikan *sludge activity index* seiring dengan bertambahnya jumlah load pada masing-masing bioreaktor. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kapabilitas dari mikroorganisme di dalam *sludge* semakin meningkat. Bioreaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah bioreaktor

*Continous Stirrer Reactor Tank* (CSTR) yang mana proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung di dalam satu reaktor. *Sludge* yang lebih aktif di dalam bioreaktor tersebut kemungkinan merupakan mikroorganisme asidogenik, sehingga *sludge activity index* meningkat pada load 2,0 g/L/hari walaupun nilai COD removal menurun. Hal tersebut menyebabkan ketidakseimbangan antara asidogenesis dan metanogenesis karena proses didominasi oleh proses asidogenik dan aktivitas metanogenik kurang baik di dalam sistem.

### 3.3.2. Konsentrasi Gas Metana

Biogas mengandung gas metana dalam jumlah besar, yakni berkisar 55-75%. Data penelitian menunjukkan bahwa kandungan gas metana terbesar dapat dicapai pada bioreaktor II (25% *thinslop* dan 75% *vinasse* sebesar 40,073% pada minggu kedua, 40,291 % pada minggu ketiga dan sebesar 67, 292 pada minggu keempat. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri metanogen yang berada di dalam bioreaktor II

dapat bekerja secara baik. Kandungan gas metana bioreaktor I (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*), bioreaktor II (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*), dan bioreaktor (100% *vinasse*) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah load yang dibebankan menghasilkan jumlah kandungan metana yang tinggi. Bioreaktor I (50% *thinslop* dan 50% *vinasse*) memiliki nilai potensi biogas rata-rata paling tinggi jika dibandingkan dengan bioreaktor II (25% *thinslop* dan 75% *vinasse*) dan bioreaktor III (100% *vinasse*), namun memiliki kandungan gas metana paling rendah. Hal tersebut dimungkinkan karena sebagian bahan organik dikonversikan menjadi CO<sub>2</sub>. Hal tersebut terlihat pada bioreaktor I menghasilkan kandungan CO<sub>2</sub> sebesar 11,125%, yang lebih tinggi daripada bioreaktor II sebesar 9,591% dan bioreaktor III sebesar 10,181 %.

#### IV. KESIMPULAN

Karakteristik efluen hasil rekayasa proses aklimatisasi pada bioreaktor I dengan laju pembebanan 0,5 g/L/hari, 1,0 g/L/hari, 1,5 g/L/hari, dan 2,0 g/L/hari pada perlakuan 50% *thinslop* dan 50% *vinasse* memiliki nilai potensi biogas rata-rata 39,39 L/hari, dan kandungan gas metana berkisar 32,67-52,81%, bioreaktor 2 pada perlakuan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* memiliki nilai potensi biogas rata-rata 38,97 L/hari, dan kandungan gas metana berkisar 40,29-67,29%, serta bioreaktor 3 pada perlakuan 100% *vinasse* memiliki nilai potensi biogas rata-rata 27,23 L/hari, dan kandungan gas metana berkisar 20,46-57,34%. Metode yang tepat dalam proses aklimatisasi akibat adanya perubahan substrat dari *thinslop* ke *vinasse* jika ditinjau dari parameter nilai *sludge activity index* dan potensi biogas terdapat pada bioreaktor 1 dengan perlakuan 50% *thinslop* dan 50% *vinasse* (laju pembebanan 2,0 g/L/hari). Bioreaktor dengan perlakuan 25% *thinslop* dan 75% *vinasse* dengan laju pembebanan 2,0 g/L/hari jika ditinjau dari kandungan gas metana menghasilkan nilai yang paling tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S. 2002. *Move towards a Zero Liquid Discharge Distillery*. 2nd FICCI-TERI Global Conference, New Delhi.
- Hasanudin, U., Suroso, E., Risfaheri, dan Misgiyarta. 2007. *Optimasi Fermentasi Air Limbah Tapioka Sebagai Sumber Biogas*. Laporan Hasil Penelitian. Universitas Lampung.
- Ibeto, C. N., Ofuefule, A. U and Agbo, K. E.. 2011. A Global Overview of Biomass Potentials for Bioethanol Production: A Renewable Alternative Fuel. *Trends in Applied Sciences Research* 6, (5): 410-425.
- Kraigher, B., Kosjek, T., Heath, E., Kompare, B., Mandic-Mulec, I., Influence of pharmaceutical residues on the structure of activated sludge bacterial communities in wastewater treatment bioreactors. *Water Research*, 42, 4578-4588 (2008).
- Kuiper, L., Burcu, E., Carlo, H., Willem, H., Sebastian, M. And Klass, K. 2007. Bioethanol from Cassava. *Journal or Ecofys Netherlands BV*. 38 Halaman.
- Maryanti. 2011. *Peningkatan Kinerja Reaktor Biogas Dalam pemngolahan Air Limbah Industri Bioetanol Berbahan Baku Singkong*. (Thesis) . Universitas Lampung. Lampung. 114 Halaman.
- Shimadzu Corporation. 2004. *GC – 2014 Gas Chromathography Instruction Manual*. Shimadzu Corporation Analytical and Measuring Instrument Division. Kyoto. Japan.
- Shinagawa Corporation. 2006. *Gas Production Instrustion Manual*. Sinagawa Corporation. Japan.
- Siregar, S.A. 2010. Bioreaktor Anaerobik Tangki Berpengaduk dengan Kapasitas Sebesar 50 L. <http://wastewater-indonesia.blogspot.com/2011/04/iogas-021-kg-ch4-kg-cod-removal.html>.

