

# 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

Daftar isi

Pengantar Redaksi

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

## VARIASI DIGESTER ANAEROBIK TERHADAP PRODUKSI BIOGAS PADA PENANGANAN LIMBAH CAIR PENGOLAHAN KOPI

### *ANAEROBIC DIGESTER VARIATION FOR BIOGAS PRODUCTION ON COFFEE WASTEWATER TREATMENT*

Elida Novita<sup>1✉</sup>, Hendra Andiananta Pradana<sup>2</sup>, Sri Wahyuningsih<sup>1</sup>, Bambang Marhaenanto<sup>1</sup>, Moh. Wawan Sujarwo<sup>2</sup>, Moh. Salman A. Hafids<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

<sup>2</sup>Magister Pengelolaan Sumberdaya Air Pertanian, Pascasarjana, Universitas Jember

✉Komunikasi Penulis, email: elida\_novita.ftp@unej.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv8.i3.164-174>

Naskah ini diterima pada 22 November 2018; revisi pada 26 Maret 2019; disetujui untuk dipublikasikan pada 5 Agustus 2019

#### **ABSTRACT**

*Wet coffee processing would produce wastewater with organic matter contains. Coffee wastewater was utilized for biogas feeding with anaerobic processes. Biogas becomes a renewable energy source. Factors of biogas production were digester construction and feeding. The research aim's investigated the biogas production based on digester construction on batch digester, CSTR, and UASB from coffee wastewater. The batch digester worked without a temperature control system, a UASB digester, and CSTR digester worked with the temperature control system. Biomass volume was about 5 L with 35 days incubation time. The result represented that variation of biogas production on each digester. Based on the feeding variations, UASB has a stable functioning of biogas production with 83.57 mL/day. It has also the highest remediation efficiency of COD, BOD and C/N with 85.00±0.34 %, 84.40%± 5.66 and 97.78± 0.57.*

**Keyword: anaerobic process, biogas, coffee waste water, digester construction**

#### **ABSTRAK**

Pengolahan buah kopi cara basah akan menghasilkan limbah cair yang mengandung bahan organik. Tingginya kandungan bahan organik pada limbah cair pengolahan kopi dapat dimanfaatkan sebagai biogas melalui proses anaerobik. Biogas dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Beberapa faktor yang mempengaruhi produksi biogas yaitu konstruksi digester anaerobik dan *feeding*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan beberapa digester dalam produksi biogas pada penanganan limbah cair kopi. Tahapan penelitian ini meliputi identifikasi karakteristik limbah cair kopi serta inkubasi secara anaerobik dengan metode *batch feeding*. Digester anaerobik yang digunakan yaitu digester anaerobik tanpa sistem kontrol, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dengan sistem kontrol, dan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan sistem kontrol. Volume biomassa yang digunakan sebesar 5 L dan waktu inkubasi selama 35 hari. Hasil penelitian menunjukkan variasi produksi biogas dari beberapa penggunaan digester. Berdasarkan variasi *feeding* dan konstruksinya, digester UASB memiliki kinerja yang stabil dalam produksi biogas dan efisiensi remediasi COD, BOD dan C/N. Produksi biogas rata-rata digester UASB adalah 83,57 mL/hari. Efisiensi remediasi tertinggi COD, BOD dan C/N oleh digester UASB secara berurutan yaitu 85,00 ± 0,34, 84,40 ± 5,66 dan 97,78 ± 0,57.

**Kata kunci: biogas, konstruksi digester, limbah cair pengolahan kopi, proses anaerobik**

## I. PENDAHULUAN

Industrialisasi di bidang pertanian kopi berkontribusi penting dalam ekonomi nasional. Sejalan dengan hal tersebut sumbangsih agroindustri kopi dalam ekonomi nasional yaitu sumber devisa negara, pendapatan petani dan lapangan kerja (Sudjarmoko, 2013). Produksi kopi nasional diperkirakan mencapai 667 ton pada tahun 2016 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016). Indonesia menjadi produsen dan eksportir kopi nomor 4 di dunia setelah Brazil, Vietnam dan Kolombia. Biji kopi merupakan hasil pengolahan dari buah kopi. Salah satu pemanfaatan atau hilirisasi biji kopi adalah produk minuman. Terdapat tiga metode pengolahan buah kopi menjadi biji kopi yaitu pengolahan kering, pengolahan semi basah dan pengolahan basah (Mayrowani, 2013; Prastowo et al, 2010). Pengolahan kopi metode semi basah dan basah menghasilkan biji kopi dengan mutu yang lebih baik, namun pengolahan kopi dengan metode basah relatif tidak ramah lingkungan karena menghasilkan limbah cair dan padat (Novita, 2016).

Pengolahan kopi cara basah membutuhkan air sejumlah 10-30 m<sup>3</sup> per ton buah kopi dan menghasilkan limbah cair lebih dari 50% dari penggunaan air untuk pengolahan biji kopi (Cruz-Salomón et al., 2018). Limbah cair pengolahan kopi memiliki derajat keasaman yang rendah sehingga bersifat korosif. Selain itu limbah cair pengolahan kopi tersebut memiliki kandungan bahan organik yang tinggi sehingga dapat mengganggu dan menyebabkan kematian pada organisme air jika dibuang langsung ke badan air. Limbah cair hasil pengolahan kopi dapat memiliki nilai BOD antara 3.100 - 14.343 mg/L dan COD antara 5.000 - 35.000 mg/L (Novita et al. 2018; Marsolek et al. 2012). Tingginya kandungan bahan organik pada limbah cair pengolahan kopi yang diindikasikan oleh nilai COD dan BOD dapat dimanfaatkan sebagai biogas melalui proses anaerobik, dengan siklus yang terdiri atas hidrolisis, asidifikasi dan metanogenesis. Proses anaerobik akan memecah polutan-polutan menjadi senyawa yang relatif lebih aman bagi lingkungan dengan penurunan nilai COD, BOD, TSS dan TDS sebesar 50 - 90% (Rajagopal et al. 2013) serta menghasilkan gas metan yang dapat digunakan

sebagai sumber energi terbarukan. Sumber energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk operasional perkebunan kopi dan aktivitas domestik. Selain itu, dapat mengurangi pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer dari aktivitas pertanian.

Proses pembuatan biogas digunakan mikroorganisme pembantu atau *starter* yang berasal dari kotoran ruminansia yang mengandung C/N yang relatif optimal atau stabil sebesar 24. Penambahan kotoran sapi atau ruminansia dapat meningkatkan keberhasilan produksi biogas (Luz et al 2017). Beberapa hal yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas yaitu input biomassa dan kontruksi biogas. Pemberian bahan organik dengan konsentrasi yang tinggi dan pemberian kontruksi digester berpengaduk dapat meningkatkan aktivitas bakteri metanogen (Fontana et al. 2016; Novita et al. 2018). Metode semi kontinyu merupakan salah satu metode pengisian feeding atau biomassa pada proses anaerobik. Metode ini memungkinkan pengisian bahan baku dengan periode tertentu sehingga diasumsikan jumlah mikroorganisme dan substrat sebanding (Aslanzadeh et al. 2013). Metode semi kontinyu pada penanganan limbah cair kopi untuk produksi biogas mudah diaplikasikan oleh petani kopi karena tidak perlu melakukan pembongkaran digester dan memiliki biaya operasional relatif rendah. Selain itu, metode ini memungkinkan dilakukan variasi penambahan biomassa dan *starter* dalam kurun waktu tertentu yang membuat produksi biogas stabil. Adapun menurut Hasanudin dan Haryanto (2017), penggunaan metode ini dapat mengurangi risiko kelimpahan mikroorganisme anaerobik pada proses pembentukan biogas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kemampuan jenis-jenis digester anaerobik dalam memproduksi biogas dan reduksi bahan organik dari penanganan limbah cair pengolahan kopi.

## II. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni sampai bulan November 2015 di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jeriken, labu ukur 100 mL dan 500 mL merk pyrex, beaker glass 100 mL dan 500 mL merk pyrex, oven merk memmert, pH meter merk senz, CO<sub>2</sub> meter GCH – 2018 merk Lutron, pH meter *calibration check* HI 223, USB *downloader*, perangkat komputer, *software BASCOM AVR IDE* versi 2.0.7.7, COD reactor HI 839800 merk Hanna, spektrofotometer HI 83099 dan labu kjedahl. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu limbah cair pengolahan kopi, *starter (slurry* dari campuran kotoran sapi dan limbah cair kopi), air suling, NaOH 1 N dan 0,1 N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 N, mangan sulfat 40%, alkali iodida azida, reagen COD HR (*High Range*) HI 93754 C – 25, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025 N, indikator amilum 0,05 N, asam borat 1%, indikator metil red, NaOH 40%, HCL 0,05 N, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 2 N, mikrokontroler ATmega8, sensor suhu LM35, papan PCB, LCD 2 x 16, *relay, heater, kristal 8000, resistor 100 kΩ dan 1 kΩ, transistor C828, kapasitor 16V 1 μF, dioda 1A, adaptor 12V, 2 buah potensio, timah, soket mikrokontroler kaki 28, LED, kabel, tombol on/off, bak air, ic regulator 7805, besi hider, dan pipa.*

### 2.1. Desain Digester

Terdapat 3 digester yang digunakan dalam penelitian ini yaitu digester (1) model *batch*, (2) *Up Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)* dan (3) *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* yang dapat dilihat pada Gambar 1. Digester ini berbahan baku dari fiber. UASB dan CSTR dengan sistem kontrol suhu. Volume total digester ini adalah 7,5 liter.

### 2.2. Penetralan pH Limbah Cair Pengolahan Kopi

Penetralan kondisi keasaman atau pH dilakukan agar bakteri metanogen dapat hidup di lingkungan yang sesuai. Kondisi pH yang terlalu asam menjadi inhibitor proses anaerobik. Penetralan pH dilakukan penambahan NaOH 0,1 N ke dalam limbah cair pengolahan kopi dengan volume 100 mL. Penambahan NaOH 0,1 N dihentikan pada saat limbah cair pengolahan kopi memiliki pH netral dengan nilai sebesar 7,1.

### 2.3. Pengukuran Volume Biogas

Pengukuran volume biogas dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- penyiapan *beaker glass* 500 mL dan dilakukan pengisian air jernih hingga volume air dalam *beaker glass* mencapai 250 mL;
- pelepasan tali yang mengikat penampung gas dengan saluran gas secara perlahan;
- penarikan penampung gas dari saluran gas yang dilakukan secara perlahan kemudian dilakukan pengikatan pada ujung penampung gas dengan kuat sehingga plastik penampung gas mengembang;
- penutupan saluran gas dilakukan melalui penyumbat plastik dengan segera setelah penampung gas dilepaskan;
- plastik penampung gas dimasukkan ke *beaker glass* yang sudah diisi air dengan cara menekan secara perlahan menggunakan jari hingga semua permukaan kantong plastik tenggelam;
- pengukuran volume biogas dilakukan dengan mengamati kenaikan muka air pada *beaker glass*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. (a) Digester *Batch*; (B) Digester UASB; (C) CSTR

#### 2.4. Pengukuran Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Kopi

Adapun parameter yang diukur di akhir pada proses anaerobik di setiap *feeding* yaitu COD, BOD, C dan N. Berikut ini merupakan metode pengukuran parameter tersebut pada proses anaerobik menggunakan metode semi kontinyu. Pengukuran ini dilakukan setelah penambahan input (*feeding*).

a. Parameter COD diukur di awal dan di akhir setiap *feeding* menggunakan metode spektrofotometri dengan tahapan berikut ini:

1. sampel limbah cair kopi dimasukkan ke dalam reagen COD *High Range* (HR) dengan volume 0,2 mL;
2. reagen COD dipanaskan pada reaktor COD dengan suhu 150 °C selama 2 jam;
3. reagen COD didinginkan dan kemudian diukur nilai CODnya menggunakan spektrofotometer dengan beberapa ulangan pembacaan.

b. Parameter BOD diukur di awal dan di akhir setiap *feeding* menggunakan metode winkler dengan Persamaan (1) dan (2). DO merupakan *Dissolved Oxygen* (mg/L),  $\alpha$  merupakan normalitas Natrium Tiosulfat (ml), N merupakan normalitas Natrium Tiosulfat (ml), V merupakan volume botol Winkler (ml), BOD merupakan *Biochemical Oxygen Demand* (mg/L),  $DO_0$  merupakan sampel DO pada  $t=0$  (mg  $O_2$ /L),  $DO_5$  merupakan sampel DO pada  $t=5$  hari (mg  $O_2$ /L),  $BO_0$  merupakan DO blanko pada saat  $t=0$  (mg  $O_2$ /L),  $BO_5$  merupakan DO blanko pada saat  $t=5$  hari (mg  $O_2$ /L), dan P merupakan derajat pengenceran.

$$DO = \frac{a * N * 8000}{V - 4} \quad (1)$$

$$BOD = \frac{(DO_0 - DO_5) - (BO_0 - BO_5)(1 - P)}{P} \quad (2)$$

c. Parameter C – Organik diukur di awal dan di akhir setiap *feeding* menggunakan metode Walkey dan Black dengan Persamaan (3). Ppm *curved* merupakan kadar contoh yang didapat dari kurva regresi dan  $fk$  merupakan faktor koreksi kadar air,  $100/(100 - \% \text{ kadar air})$ .

$$C_{organik} = ppm_{curved} * s * fk \quad (3)$$

d. Parameter N – Organik diukur awal – akhir di setiap *feeding* menggunakan metode kjedahl dengan Persamaan (4).  $V_c, V_b$  merupakan titar sampel dan blanko (ml), N merupakan normalitas larutan baku  $H_2SO_4$ , dan  $M_r$  merupakan bobot setara N (14).

$$N_{Total} = (V_c - V_b) * M_r * \frac{100ml}{mg} \text{ sampel} * fk \quad (4)$$

e. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan dalam menentukan C/N pada Persamaan (5). C merupakan konsentrasi karbon (%), N merupakan konsentrasi nitrogen (%),  $C_{Lcpk}$  merupakan konsentrasi karbon dari limbah cair kotoran sapi,  $N_{Lcpk}$  merupakan konsentrasi nitrogen dari limbah cair kotoran sapi,  $C_{Ks}$  merupakan konsentrasi karbon dari kotoran sapi,  $N_{Ks}$  merupakan konsentrasi nitrogen dari kotoran sapi, dan  $V_{total}$  merupakan volume total (ml).

$$\frac{C}{N} = \frac{(\% C_{Lcpk} * V_{total}) + (\% C_{Ks} * V_{total})}{(\% N_{Lcpk} * V_{total}) + (\% N_{Ks} * V_{total})} \quad (5)$$

#### 2.5. Tahapan Variasi Feeding dengan Metode Semi Kontinyu

Tahapan proses anaerobik limbah cair pengolahan kopi menggunakan kombinasi metode *batch* dan semi kontinyu. Metode *batch* dilakukan selama 14 hari pada *feeding* pertama dan metode semi kontinyu dilakukan selama 21 pada *feeding* kedua – keempat. Variasi *feeding* dapat dilihat pada Tabel 1. Sebagian effluen berupa slurry di dalam digester tidak dikeluarkan dan digunakan kembali untuk inkubasi tahapan selanjutnya sehingga total larutan atau biomassa pada ketiga digester tetap 5 liter pada setiap tahapan inkubasi. Slurry tersebut diasumsikan sebagai *starter*.

#### 2.6. Analisis Data

Analisis data dilakukan pada parameter harian, awal dan akhir. Data harian yang diamati meliputi volume dan komposisi biogas yang terbentuk. Pengolahan data harian dilakukan menggunakan *Ms. Excel* dengan *output* grafik yang memiliki parameter *independent* (sumbu x) berupa waktu dan parameter *dependent* (sumbu y) berupa volume biogas. Pengolahan data hasil penelitian dilakukan pada parameter yang diukur di awal dan di akhir pada setiap

Tabel 1. Variasi Feeding pada Digester Batch, UASB, dan CSTR Menggunakan Metode Semi Kontinyu

Tahap	Variasi Input dan Effluent (L)												Waktu Inkubasi (Hari)
	Batch				UASB				CSTR				
	Limbah Cair Kopi	K	E	VT	Limbah Cair Kopi	K	E	VT	Limbah Cair Kopi	K	E	VT	
1	1,6	-	3,4	5	1	-	4	5	0,6	-	4,4	5	14
2	0,8	-	4,2	5	1	-	4	5	0,6	-	4,4	5	7
3	0,24	0,24	4,52	5	0,5	0,5	4	5	0,3	0,3	4,4	5	7
4	0,48	-	4,52	5	1	-	4	5	0,6	-	4,4	5	7

Keterangan, K: Kotoran sapi; E: Efluen yang difungsikan sebagai inokulum; VT: Volume total, Volume di dalam digester *batch*, UASB dan CSTR tetap 5 L

*feeding* yang meliputi COD, BOD dan C/N. Metode pengolahan data dilakukan dengan menentukan persentase tingkat penurunan parameter pencemaran tersebut. Penentuan persentase penurunan pencemaran limbah cair kopi dilakukan untuk mengetahui tingkat penurunan parameter pencemaran limbah cair pengolahan kopi pada digester *batch*, UASB dan CSTR menggunakan kombinasi metode *batch* dengan semi kontinyu. Persamaan (6) merupakan Persamaan persentase penurunan tingkat pencemaran, dengan EF merupakan *efficiency* (%), Cn1 merupakan *concentration* 1, dan Cn2 merupakan *concentration* 2.

$$EF = \frac{(Cn2 - Cn1)}{Cn2} * 100\% \quad (6)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Produksi Volume Biogas

Proses anaerobik memiliki dua keuntungan. Keuntungan tersebut yaitu menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan penurunan daya cemar limbah. Hasil proses anaerobik adalah gas metan, gas karbondioksida, hidrogen dan hidrogen sulfida. Biogas merupakan fluida yang berasal dari aktivitas mikroorganisme dalam merombak atau mendegradasi bahan-bahan organik melalui proses aerobik atau anaerobik. Proses anaerobik menggunakan oksigen sebagai pembatas dalam produksi biogas. Oksigen bukan difungsikan sebagai asektor elektron dalam melakukan aktivitas degradasi bahan organik (Leite et al, 2015). Bakteri metanogenik yang berperan dalam pembentukan biogas memanfaatkan karbon sebagai asektor elektron untuk memproduksi gas metan sebagai salah satu komponen biogas. Beberapa bakteri yang diprediksikan berperan dalam siklus

pembentukan biogas adalah bakterik hidrolitik (hidrolisis), *acid/farming bacteria* dan *acetogenic bacteria* (asidifikasi), *Methanobacterium* serta *Methanosarcina* (Nabarlatz et al. 2013). Karakteristik atau fluktuasi pembentukan biogas akan dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme dan faktor lingkungan.

Fluktuasi volume biogas menggunakan metode *batch* (fase 1) disajikan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa digester dapat mempengaruhi produksi biogas. *Starter* yang digunakan dalam proses anaerobik limbah cair pengolahan kopi diperoleh dari digester *batch* yang sudah aktif. Aktivitas bakteri metanogenik pada kultur kotoran sapi diperkirakan memiliki masa kinerja selama 2 – 14 hari dalam produksi gas metan (Schunurer dan Jarvis, 2009). Oleh sebab itu inkubasi *batch* (*feeding* pertama) pada digester *batch*, UASB, dan CSTR selama 14 hari.

Lamanya inkubasi diatur sama untuk digester *batch*, UASB, dan CSTR yang bertujuan untuk mengetahui pola biogas yang terbentuk selama 14 hari dengan metode *batch* di tahap 1 (*feeding* pertama). Total volume biomassa dan *starter* yang terdapat di dalam masing – masing digester adalah 5 liter. Digester *batch* menghasilkan biogas dengan rentang nilai 0 – 140 mL. Digester UASB menghasilkan biogas dengan rentang nilai 50 – 140 mL. Digester CSTR menghasilkan biogas sebesar 25 – 190 mL. Gambar 2 menunjukkan bahwa produksi biogas pada titik tertinggi pada tahap 1 secara berurutan yaitu UASB dengan volume 135 mL pada hari ke 2, CSTR dengan volume 190 mL pada hari ke 6, dan digester *batch* dengan volume 140 mL pada hari ke 7. Rata – rata produksi biogas digester *batch*, UASB dan

CSTR secara berurutan inkubasi selama 14 hari  
yaitu 75,31 mL/hari; 99,29 mL/hari dan 66,43





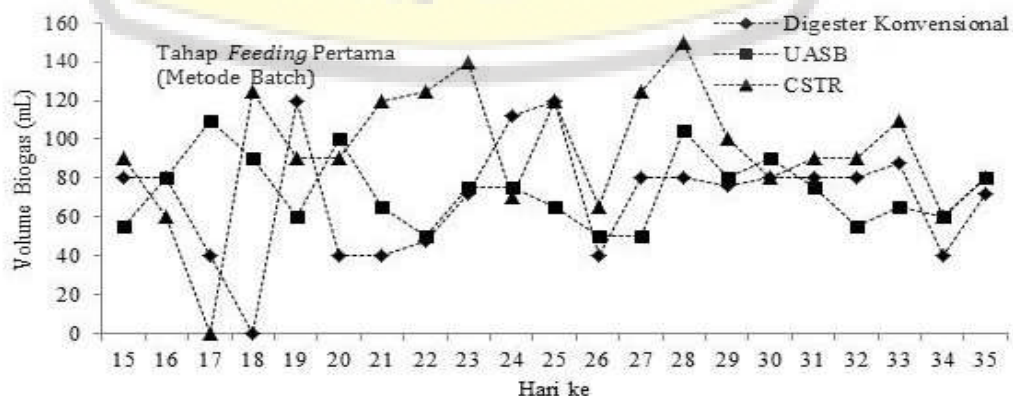
mL/hari. Komposisi biogas yang diproduksi dari limbah cair kopi yaitu gas metan 56,30%; gas karbondioksida 34,33%; dan gas dengan volume kecil 9,36% (Novita et al, 2018). Digester UASB memiliki performa lebih stabil dalam produksi biogas daripada digester *batch* dan CSTR meskipun volume biogas yang dihasilkan fluktuatif. Fluktuasi produksi biogas pada ketiga digester diprediksikan dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme anaerob. Model monod merupakan model fluktuasi pertumbuhan mikroorganisme aerob atau anaerob yang dapat digunakan sebagai dasar pendekatan aktivitas mikroorganisme pada proses anaerobik (Novita et al, 2018).

Berdasarkan adaptasi mikroorganisme yang mengacu pada pendekatan model monod, aktivitas mikroorganisme di dalam digester *batch* dan UASB diprediksikan fase *lag* yang singkat dan langsung mengalami tahapan logaritmik, volume biogas yang diproduksi pada hari ke 1 - hari ke 7. Sedangkan aktivitas mikroorganisme pada digester CSTR diprediksikan mengalami fase *lag* atau pertumbuhan lambat dan fase *death* pada hari ke 1 - 5 kemudian pada hari ke 6 mencapai titik tertinggi dan diprediksikan mengalami fase eksponensial. Volume biogas yang diproduksi pada hari ke 8 - 14 cenderung fluktuatif dan diprediksikan aktivitas bakteri pada fase logaritmik - statis terjadi. Digester UASB berpotensi menghasilkan volume biogas yang lebih baik dan stabil dibandingkan digester *batch* dan CSTR. Kontruksi UASB memungkinkan hidrolisis limbah cair pengolahan kopi lebih singkat, karena up flow membuat kondisi limbah cair dan inokulum homogen sehingga

menghasilkan *organic loading rate* dan waktu pengontakan limbah cair dengan *blanket* yang optimal.

*Feeding* pertama (tahap 1) dengan inkubasi selama 14 hari dengan metode *batch* menunjukkan volume biogas yang masih diproduksi. Oleh sebab itu dilakukan kombinasi metode semi kontinu pada digester *batch*, UASB dan CSTR. Metode ini digunakan untuk mengetahui potensi produksi biogas pada masing - masing digester berdasarkan variasi komposisi *input*. Inkubasi pada tahap *feeding* kedua - keempat (fase 2 - 4) dilakukan selama 21 hari. Kombinasi limbah peternakan dan limbah cair industri pertanian pada proses anaerobik dengan metode *batch* dan semi kontinu dapat menghasilkan biogas selama 30 - 60 hari (Novita, 2016). Sehingga waktu inkubasi pada penelitian ini dengan kombinasi metode *batch* dan semi kontinu selama 35 hari.

Volume biogas yang diproduksi pada masing - masing digester menggunakan metode semi kontinu memiliki nilai yang fluktuatif. Rentang nilai volume biogas di tahap *feeding* 2 - 4 pada digester *batch*, UASB dan CSTR secara berurutan yaitu 0 - 120 mL, 50 - 115 mL, dan 0 - 150 mL. Setiap tahap ini dilakukan penambahan substrat berupa limbah cair pengolahan kopi yang mengandung karbon tinggi yaitu 726 - 3920 mg/L. Stabilisasi produksi biogas dilakukan dengan penambahan ulang kotoran sapi sebagai sumber nitrogen dan bakteri metanogenik. Penambahan ini diprediksikan menimbulkan tahapan logaritmik pada *feeding* 3 - 4 berdasarkan volume biogas yang dihasilkan oleh digester *batch*, UASB, dan CSTR. Volume biogas yang



Gambar 2. Fluktuasi Produksi Biogas dengan Metode *Batch* Selama 14 Hari

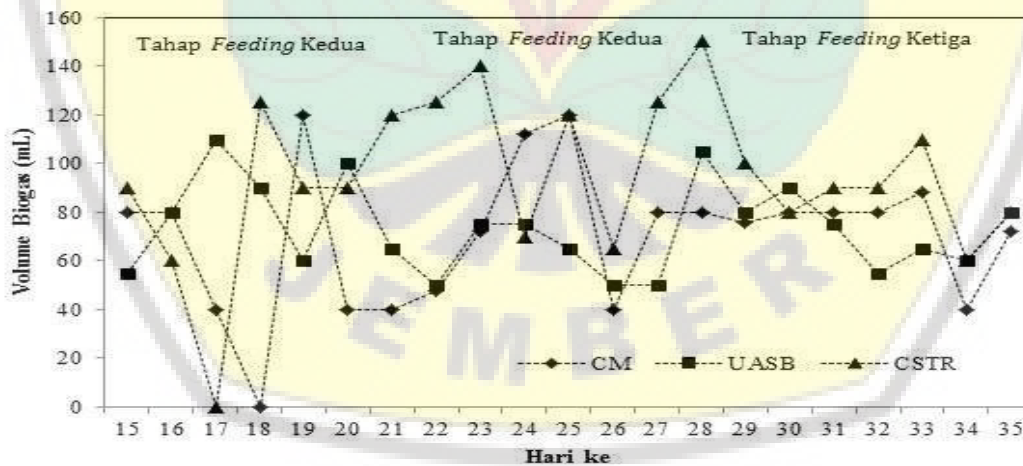
dihasilkan dipengaruhi oleh konstruksi digester. UASB dan CSTR memiliki sistem agitasi dan dilengkapi dengan sistem kontrol suhu. Agitasi dapat mengurangi biogas yang tertahan pada biomassa (Ho, 2010). Hal ini membuat digester UASB dan CSTR berpotensi menghasilkan biogas lebih besar daripada digester *batch*.

Rata - rata produksi biogas dengan masa inkubasi 35 hari menggunakan metode *batch* dengan kombinasi semi kontinu pada digester *batch*, UASB dan CSTR secara berurutan yaitu 69,90 mL/hari; 83,57 mL/hari dan 83,14 mL/hari (Gambar 3). UASB memiliki performa yang lebih stabil dan lebih besar dalam produksi biogas dari limbah cair pengolahan kopi daripada *batch* dan CSTR. Proses anaerobik menggunakan metode *batch* dengan kombinasi metode semi kontinu menunjukkan bahwa UASB menghasilkan volume biogas yang stabil. Oleh sebab itu UASB merupakan digester yang lebih direkomendasikan dalam penanganan limbah cair pengolahan kopi berdasarkan volume biogas, potensi tingkat efisiensi penurunan pencemaran limbah kemudahan pengoprasian dan biaya operasional yang lebih rendah daripada CSTR.

### 3.2. Efisiensi Penurunan COD dan BOD

Parameter yang digunakan untuk tingkat pencemaran limbah berdasarkan kandungan oksigen dalam badan air untuk bereaksi secara kimia dan biologi yaitu COD dan BOD yang dinyatakan dalam mg/L. Secara umum COD dan BOD mengindikasikan kandungan bahan organik yang mudah terurai. Semakin tinggi nilai tersebut maka kandungan oksigen dalam limbah tersebut semakin kritis. Bahan - bahan organik yang mudah terurai mempengaruhi produksi biogas pada proses anaerobik. Berdasarkan Tabel 2. Nilai COD dan BOD bervariasi pada masing - masing digester. Rentang nilai *input* COD pada digester *batch*, UASB, dan CSTR secara berurutan yaitu 4732-11160 mg/L, 2062-31220 mg/L, dan 1839-42335 mg/L. Rentang nilai *input* BOD pada digester *batch*, UASB, dan CSTR secara berurutan yaitu 1720-7022 mg/L, 1300-19575 mg/L, dan 1157-11008 mg/L.

Efisiensi merupakan perhitungan untuk mengetahui kemampuan digester dalam mendegradasi COD dan BOD. Menurut (Junior et al, 2014) beban pencemaran limbah cair yang diindikasikan oleh tingginya nilai COD dan BOD akan mempercepat perombakan bahan - bahan



Gambar 3. Fluktuasi Volume Biogas Menggunakan Metode Semi Kontinyu

Tabel 2. Nilai COD dan BOD Limbah Cair Kopi

Tahap	COD (mg/L)						BOD (mg/L)					
	Digester Batch		UASB		CSTR		Digester Batch		UASB		CSTR	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
1	11160	4760	10146	4870	42335	7197	7022	2990	6390	2684	11008	4304
2	6867	4450	31220	24352	6796	3201	4775	2800	19575	13800	4085	2018
3	4372	3254	3840	1498	7779	1774	1866	1080	2420	847	3021	1079
4	5074	2342	2062	309	1839	1559	1720	1481	1300	203	1157	994

organik. Berdasarkan kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa tingginya beban pencemaran oleh limbah cair pengolahan kopi akan mempercepat fermentasi bahan organik pada proses anaerobik sehingga pembentukan gas metan optimum. Selain itu, tingginya nilai COD dan BOD akan mempengaruhi kecepatan kinerja bakteri metanogen. Hal ini disebabkan oleh tingkat beban pencemaran yang tinggi dapat mereduksi jumlah oksigen secara cepat pada limbah cair pengolahan kopi. Pada kondisi tersebut bakteri metanogenik dapat berkerja secara optimum dalam pembentukan biogas.

Reduksi COD dan BOD oleh ketiga digester memiliki hasil yang bervariasi berdasarkan Tabel 3. Reduksi ini dipengaruhi oleh konstruksi digester dan variasi feeding. Digester *batch* dapat mereduksi nilai COD dan BOD hingga mencapai  $57,35 \pm 9,05 \%$  dan  $57,42 \pm 9,00 \%$ . Digester UASB dapat mereduksi nilai COD dan BOD hingga mencapai  $85,00 \pm 0,34 \%$  dan  $84,40 \pm 5,66 \%$ . CSTR dapat mereduksi nilai COD dan BOD hingga mencapai  $83,00 \pm 4,10 \%$  dan  $64,30 \pm 4,39 \%$ . Kemampuan mereduksi COD dan BOD berkaitan dengan tingginya konsentrasi bahan organik dan lamanya *organic loading rate* (ORL) (Muradin & Foltynowicz, 2014). Pada setiap digester terdapat *starter* yang berasal dari inkubasi limbah cair pengolahan kopi dan kotoran sapi.

Digester *batch*, UASB dan CSTR berasal dari bahan yang sama yaitu fiber serta aplikasi feeding yaitu dengan metode semi kontinyu. Perbedaan dari ketiga digester tersebut yaitu (1) digester *batch* tidak dilengkapi dengan sistem kontrol suhu, (2) digester UASB dan CSTR menggunakan sistem kontrol suhu otomatis, dan (3) digester UASB menggunakan aliran sebagai mixing biomassa dengan debit 0,41 ml/s dan

CSTR menggunakan pengaduk otomatis dengan kecepatan 60 rpm. Perbedaan ini memberikan pengaruh pada reduksi beban pencemaran yang diindikasikan oleh nilai COD dan BOD. UASB memiliki efisiensi penurunan nilai beban pencemaran (COD dan BOD) tertinggi sebesar  $85,00 \pm 0,34 \%$  dan  $84,40 \pm 5,66 \%$ . Hal ini disebabkan oleh penggunaan sistem kontrol suhu yang dapat menjaga rentang nilai suhu sebesar  $31 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Suhu proses termasuk mesofilik yang cenderung ideal untuk proses anaerobik dalam produksi biogas dan degradasi bahan organik (Fontana et al, 2016). UASB memiliki konstruksi blanket sebagai tempat pembiakan inokulum dan memiliki model digester up flow. Desain tersebut memungkinkan adsorpsi bahan organik oleh inokulum optimal. Blanket merupakan tempat inokulum dengan konstruksi tetap dan dibuat berlapis - lapis. Hal ini memungkinkan pengontakan limbah cair dengan inokulum menjadi homogen atau sama. Penggunaan debit 0.41 mL/s memungkinkan terjadi pencampuran dan pengontakan limbah cair kopi dengan inokulum melalui aliran. Meskipun CSTR dilengkapi dengan sistem kontrol suhu dan pengaduk otomatis cenderung kurang efektif untuk penanganan limbah cair pengolahan kopi. Hal ini disebabkan spesifikasi CSTR secara umum digunakan untuk homogenisasi limbah padat dengan ukuran partikel tertentu. Selain itu CSTR memiliki konstruksi yang mengharuskan adanya tambahan energi untuk pengadukan sehingga berpotensi meningkatkan biaya operasional yang lebih tinggi dari pada UASB saat diaplikasikan. Variasi degradasi bahan pencemaran juga dipengaruhi oleh variasi *feeding* dan jenis digester anaerobik.

Berdasarkan Tabel 3 secara umum, proses anaerobik dengan metode semi - kontinyu

Tabel 3. Efisiensi COD dan BOD pada Proses Anaerobik dengan Metode Kombinasi *Batch* dengan Semi Kontinyu

Tahap Feeding	Efisiensi COD (%)			Efisiensi BOD (%)		
	Digester Batch	UASB	CSTR	Digester Batch	UASB	CSTR
1	$57,35 \pm 9,05$	$52,00 \pm 6,36$	$83,00 \pm 4,10$	$57,42 \pm 9,00$	$58,00 \pm 1,54$	$60,90 \pm 2,69$
2	$35,20 \pm 2,55$	$22,00 \pm 2,86$	$52,90 \pm 0,76$	$41,36 \pm 0,90$	$29,50 \pm 4,78$	$50,60 \pm 2,46$
3	$25,59 \pm 2,48$	$61,00 \pm 0,93$	$77,20 \pm 1,41$	$42,12 \pm 0,94$	$65,00 \pm 5,04$	$64,30 \pm 4,39$
4	$53,84 \pm 4,67$	$85,00 \pm 0,34$	$15,20 \pm 2,94$	$13,90 \pm 4,67$	$84,40 \pm 5,66$	$14,10 \pm 6,29$

menunjukkan bahwa digester UASB memiliki nilai efisiensi terbaik dalam menurunkan beban pencemaran limbah cair kopi sebesar  $85,00 \pm 0,34$  % dan  $84,40 \pm 5,66$  %. Kondisi ini disebabkan karena *feeding* pada UASB dengan beban pencemaran yang tinggi memberikan kesempatan mikroorganisme metanogenik pada *blanket* untuk berkembang biak lebih cepat karena ketersediaan substrat yang mencukupi (Novita et al, 2018).

### 3.3. Efisiensi Penurunan C/N

Rasio C/N merupakan pendekatan matematis yang digunakan untuk mengetahui perbandingan kandungan Karbon atau C organik serta Nitrogen (N Total) dalam suatu zat. Hal tersebut digunakan untuk mengindikasikan kebutuhan makronutrien yang digunakan oleh bakteri metanogenik dalam proses anaerobik. Gas oksigen digunakan sebagai faktor pembatas dalam proses ini sehingga dibutuhkan unsur C dan N sebagai media pertumbuhan mikroorganisme atau bakteri. C organik digunakan untuk membentuk sel karbon, asam volatile, gas metan ( $CH_4$ ) dan gas karbondioksida ( $CO_2$ ), sedangkan unsur N digunakan untuk nutrisi atau makanan serta pembelahan sel pada mikroorganisme yang berperan dalam proses anaerobik (Aslanzadeh et al., 2013). Pada dasarnya nilai C dan N dimanfaatkan sebagai biofermentasi dalam proses anaerobik untuk menghasilkan gas metan sebagai salah satu komponen biogas. Secara umum pembentukan biogas membutuhkan C/N sebesar 15 – 30. Nilai C/N ratio relatif tinggi akan meningkatkan pertumbuhan bakteri yang berakibat pada pembentuk gas karbondioksida yang tinggi, sedangkan jika nilai rasio C/N rendah maka nitrogen akan berakumulasi untuk membentuk gas ammonia.

Variasi *feeding* dengan kombinasi metode *batch* dengan semi kontinyu mempengaruhi tingkat degradasi bahan organik yaitu C dan N. Digester *batch* memproses limbah cair pengolahan kopi dengan konsentrasi C dan N secara berurutan sebesar 726 – 1584 mg/L dan 15,58 – 205,21 mg/L. Digester UASB memproses limbah cair pengolahan kopi dengan konsentrasi C dan N secara berurutan sebesar 1584 - 7717 mg/L dan 15,58 – 88,72 mg/L. Digester CSTR memproses limbah cair pengolahan kopi dengan konsentrasi C dan N secara berurutan sebesar 1584 – 3920 mg/L dan 15,58 – 205,01 mg/L. Nilai C/N berdasarkan konsentrasi C dan N pada masing-masing *input* digester dapat dilihat pada Tabel 4.

Secara umum, digester UASB memiliki kinerja lebih baik daripada digester *batch* dan CSTR dalam mereduksi C/N. Efisiensi penurunan C/N pada digester UASB dengan metode semi – kontinyu rata – rata lebih dari 90%. Degradasi bahan organik berupa C dan N dipengaruhi oleh aktivitas bakteri *Methanosarcina* dan *Metanosaeta* dalam produksi biogas. Digester UASB dan CSTR dilengkapi dengan sistem kontrol suhu sehingga suhu proses mencapai 31 – 37 °C dan cukup baik dalam mereduksi kadar C/N. Kondisi ini meningkatkan kinerja bakteri metanogenik untuk mengabsorpsi C dan N. Selain itu suasana mesophilic (25 – 40 °C) dapat merupakan kondisi yang cukup ideal dalam mempercepat laju reaksi kimia dalam pemecahan bahan organik (Basset et al 2016). Kondisi ini juga terjadi pada digester *batch* dengan suhu proses 24,9 – 31 °C dengan kemampuan reduksi C/N tertinggi yaitu  $76,97 \pm 0,24$  %. UASB dilengkapi dengan aliran *up flow* untuk agitasi dengan debit aliran 0,41 mL/s yang memungkinkan timbulnya gesekan partikel yang

Tabel 4. Nilai C/N Limbah Cair Kopi

Tahap Feeding	C/N					
	Digester Batch		UASB		CSTR	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
1	7,50	3,50	29,61	1,81	29,77	5,41
2	7,88	6,24	37,77	5,28	22,71	5,95
3	12,97	2,99	12,37	0,27	37,56	31,62
4	46,61	13,65	33,40	1,01	23,44	19,06

Tabel 5. Efisiensi Penurunan C/N Limbah Cair Pengolahan Kopi dengan Metode Kombinasi *Batch* dengan Semi Kontinyu

Tahapan	Efisiensi C/N (%)		
	Digester <i>Batch</i>	UASB	CSTR
1	53,35 ± 1,60	93,88 ± 5,36	81,82 ± 1,50
2	20,72 ± 0,80	86,03 ± 6,56	73,79 ± 5,52
3	76,97 ± 0,24	97,78 ± 0,57	15,81 ± 1,52
4	70,72 ± 0,48	96,97 ± 2,19	18,68 ± 4,98

cukup lambat dan seragam. Kondisi ini membuat pengontakan limbah cair kopi dan *starter* pada blanket dengan waktu tinggal cukup lama sehingga reduksi C/N pada UASB oleh bakteri metanogenik cenderung lebih optimal.

Inkubasi pada *feeding* pertama menggunakan metode *batch* selama 14 hari menunjukkan nilai efisiensi penurunan yang baik dan dapat dilihat pada Tabel 5. Pada *feeding* kedua, ketiga digester mengalami penurunan kemampuan dalam mereduksi C/N. Efisiensi reduksi nilai C/N pada *feeding* kedua cenderung menurun pada digester *batch* dan UASB. Kondisi ini diprediksikan terjadi karena umur fungsional bakteri metanogenik yaitu 10 – 12 hari (Schunurer and Jarvis, 2009). *Feeding* ketiga dilakukan penambahan bakteri metanogenik dari kotoran sapi sehingga meningkatkan efisiensi penurunan nilai C/N pada digester *batch* dan UASB. Nilai efisiensi penurunan C/N pada digester CSTR lebih rendah diakibatkan karena konsentrasi C yang cukup tinggi dan diprediksikan keberadaan bakteri metanogenik yang minim. Oleh sebab itu disimpulkan bahwa digester UASB lebih efektif dalam reduksi bahan organik.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan variasi *feeding* dan kontruksinya, digester UASB memiliki kinerja yang stabil dalam produksi biogas dan efisiensi remediasi COD, BOD dan C/N dengan waktu inkubasi selama 35 hari menggunakan kombinasi metode *batch* dengan semi kontinyu. Produksi biogas rata – rata digester UASB adalah 83,57 mL/hari. Efisiensi remediasi tertinggi COD, BOD dan C/N oleh digester UASB secara berurutan yaitu 85,00 ± 0,34, 84,40 ± 5,66 dan 97,78 ± 0,57.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aslanzadeh, S., Rajendran, K., Jeihanipour, A., & Taherzadeh, M. J. 2013. The effect of effluent recirculation in a semi-continuous two-stage anaerobic digestion system. *Energies*, 6(6), 2966–2981.
- Basset, N., Vidal, C., Coll, A., Fernández, I., & Dosta, J. 2016. AnMBR technologies ( CSTR and UASB type ) for winery wastewater treatment at low temperatures. In *SWWS* (p. 12).
- Bombardiere, Y. E. 2006. *The potential of anaerobic digestion technology to treat coffee waste in Huatusco, Mexico*. Ohio University.
- Cruz-Salomón, A., Ríos-Valdovinos, E., Pola-Albores, F., Lagunas-Rivera, S., Meza-Gordillo, R., & Ruíz-Valdiviezo, V. M. 2018. Evaluation of hydraulic retention time on treatment of coffee processing wastewater (CPWW) in EGSB bioreactor. *Sustainability (Switzerland)*, 10(83),
- Direktorat Jenderal Perkebunan, K. P. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kopi 2015 - 2017*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.
- Fontana, A., Patrone, V., Puglisi, E., Morelli, L., Bassi, D., Garuti, M., dan Cappa, F. 2016. Effects of geographic area, feedstock, temperature, and operating time on microbial communities of six full-scale biogas plants. *Bioresource Technology*, 218, 980–990.

- Hasanudin, U., & Haryanto, A. 2017. Karakteristik pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dalam bioreaktor cigar semi kontinyu. *Teknik Pertanian Lampung*, 6(2), 81–88.
- Ho, L. S. H. 2010. *First stage ad single stage continuously stirred tank anaerobic digestion of synthetic coplex wastewater and piggery wasterwater (with emphasis on thermophilic temperature*. Murdoch University.
- Junior, E. G. b c, Jesus, R. O. d, Ilva, A. C. ., Camargo, J. R. . c, Daniletto, J. R. ., & Coelho, E. P. D. . f. 2014. Comparative study on efficiency of biodigesters upflow anaerobic sludge blanket treating brewery effluent. *Chemical Engineering Transactions*, 38, 157–162.
- Leite, A. F., Janke, L., Lv, Z., Harms, H., Richnow, H. H., & Nikolausz, M. 2015. Improved monitoring of semi-continuous anaerobic digestion of sugarcane waste: Effects of increasing organic loading rate on methanogenic community dynamics. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(10), 23210–23226.
- Luz, F. C., Cordiner, S., Manni, A., Mulone, V., & Rocco, V. 2017. Anaerobic digestion of liquid fraction coffee grounds at laboratory scale: evaluation of the biogas yield. *Energy Procedia*, 105, 1096–1101.
- Marsolek, M. D., Cummings, P. K., Wayne, M., & Vallejos, C. 2012. Wastewater treatment for a coffee processing mill in nicaragua/ : a service-learning design project. *International Journal for Service Learning in Engineering*, 7(1), 69–92.
- Mayrowani, H. 2013. Kebijakan penyediaan teknologi pascapanen kopi dan masalah pengembangannya. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 31(1), 31–50.
- Muradin, M., & Foltynowicz, Z. 2014. Potential for producing biogas from agricultural waste in rural plants in Poland. *Sustainability (Switzerland)*, 6(8), 5065–5074.
- Nabarlatz, D., Arenas, L., Herrera, D., & Niño, D. 2013. Biogas production by anaerobic digestion of wastewater from palm oil mill industry. *Latinoamerican Journal of Oil, Gas, and Alternative Energy*, 5(2), 73–84.
- Novita, E. 2016. Biodegradability simulation of coffee wastewater using instant coffee. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 217–229.
- Novita, E., Wahyuningsih, S., dan Pradana, A. H. 2018. Variasi komposisi input biogas proses anaerobik untuk produksi pada penanganan limbah cair kopi. *Jurnal Agroteknologi*, 12(01), 43–57.
- Prastowo, B., Karmawati, E., Rubijo, Siswanto, Indrawanto, C., & Munarso, J. 2010. *Budidaya dan Pasca Panen KOPI*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pembengan Perkebunan.
- Rajagopal, R., Saady, N., Torrijos, M., Thanikal, J., & Hung, Y-T. 2013. Sustainable agro-food industrial wastewater treatment using high rate anaerobic process. *Water*, 5(1), 292–311.
- Schunurer, A., & Jarvis, A. 2009. *Microbiological Handbook for Biogas Plants. Waste Management*. Swedish: Avfall Sverige and Swedish Gas Centre (SGC).
- Sudjarmoko, B. 2013. Prospek pengembangan industrialisasi kopi Indonesia. *Sirinov*, 1(3), 99–110

