

## PENGARUH PENAMBAHAN AMPAS KOPI PADA BIOGAS TERHADAP HASIL SERTA LAJU PRODUKSI METANA DAN KARBON DIOKSIDA

Bernardus Crisanto Putra Mbulu<sup>1\*</sup>, Angelica Regita Bellatrix<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Karya, JL. Bondowoso No.2 Malang

<sup>2</sup>Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Karya, JL. Bondowoso No.2 Malang

\*E-mail: [chris\\_bernardo666@widyakarya.ac.id](mailto:chris_bernardo666@widyakarya.ac.id)

### ABSTRAK

Biogas merupakan bahan bakar alternatif dari fermentasi campuran kotoran sapi dan air, yang saat ini banyak dikembangkan dengan beberapa variasi tambahan demi mendapatkan hasil produksi biogas yang lebih baik. Adapun penambahan pada penelitian ini adalah menggunakan ampas kopi, dimana selain mengurangi limbah sampah organik, juga bertujuan untuk menjadikan ampas kopi sebagai bahan tambah yang bermanfaat. Untuk mengetahui pengaruh penambahan ampas kopi terhadap hasil serta laju produksi terbesar dari biogas yaitu metana ( $CH_4$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ), dilakukan variasi massa ampas kopi terhadap campuran kotoran sapi dan air yaitu [0:4:4], [1:4:4], dan [4:4:4]. Selanjutnya hasil produksi metana ( $CH_4$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ) dideteksi menggunakan sensor MQ-4 dan MQ-135, yang nantinya digunakan untuk melihat laju produksi dan rata-ratanya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan ampas kopi pada fermentasi biogas, menyebabkan hasil dan laju produksi metana ( $CH_4$ ) serta karbon dioksida ( $CO_2$ ) mengalami peningkatan.

**Kata kunci:** Ampas kopi, reaksi fermentasi biogas, laju produksi

### 1. PENDAHULUAN

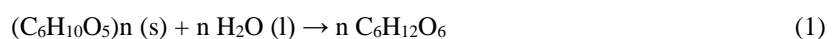
Berkembangnya kedai kopi di Indonesia secara signifikan baik yang skala besar maupun kecil, pastinya akan berimbas pada banyaknya sisa hasil produksi yaitu berupa ampas kopi. Dimana jika ampas ini dibuang secara sembarang, pastinya akan berdampak buruk pada lingkungan berupa racun yang dihasilkan dari kafein, tanin, dan polifenol yang terkandung didalamnya (Mussatto, dkk., 2011).

Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan penelitian selain untuk memanfaatkan sisa limbah di atas menjadi sesuatu yang bermanfaat, juga untuk mendukung harapan pemerintah terhadap pengembangan energi baru terbarukan berupa biogas yang tertuang dalam Perpres No. 5 tahun 2006 dan diperbaharui dalam Perpres No. 79 tahun 2014 (Kementrian ESDM, 2014).

Selain dari penjabaran di atas, adapun rumusan masalah yang akan diambil yaitu bagaimana pengaruh penambahan ampas kopi terhadap nilai rata-rata hasil serta laju produksi ( $CH_4$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ) pada masing-masing variasi campuran.

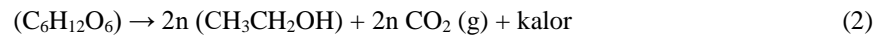
Limbah dari penyeduhan biji kopi dari berbagai kedai kopi, selain menghasilkan limbah padat juga menghasilkan limbah cair. Dimana pada perkembangan industri kopi di dunia saat ini semakin meningkat, yang pastinya berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan dan berdampak juga pada pencemaran lingkungan. Oleh karena itu setiap negara mencari solusi terbaik untuk dapat mendaur ulang limbah kopi yang dihasilkan, melalui berbagai aplikasi pemanfaatan baik sebagai bahan material, bahan bakar alternatif, pupuk, farmasi, kecantikan, maupun pemanfaatan lainnya (Lenka, dkk., 2017). Dalam penelitian ini limbah ampas kopi yang digunakan diambil langsung dari mesin kopi espresso dan teko press tanpa tercampur unsur lain, dari varietas biji kopi robusta dan arabika.

Dalam kotoran sapi kandungan yang terdapat didalamnya diantaranya yaitu, selulosa 25,2%, hemiselulosa sebesar 18,6%, lignin 20,2%, nitrogen 1,67% dan kandungan lain hingga 100% (Widyasmara, dkk., 2012). Dari kandungan terbesar pada kotoran sapi, selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) adalah yang paling mudah larut dalam larutan asam. Sehingga tahapan reaksi fermentasi dari biogas yaitu (B. Deepanraj, 2014), (Anukam A., dkk., 2019):  
Reaksi Hidrolisis/ pelarutan



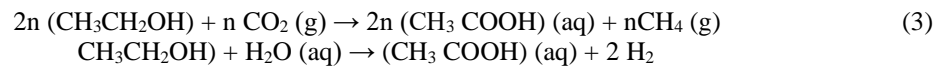
Di sini selulosa dan air menghasilkan glukosa.

a. Reaksi Asidogenik/ pengasaman



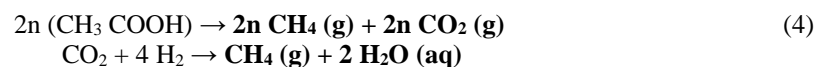
Disini glukosa mengalami pemecahan enzimatis dan berubah menjadi etanol, karbon dioksida dan kalor.

Selanjutnya,



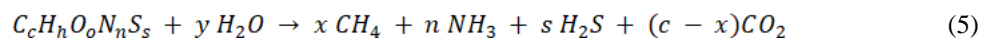
Disini etanol direaksikan dengan karbon dioksida menghasilkan asam asetat dan metana serta hidrogen.

b. Reaksi Metanogenik/ Pembentukan Gas Metana



Disini bakteri metanogenik selain menyebabkan asam asetat akan mengalami pemecahan dan menghasilkan gas metana dan karbon dioksida, juga mereduksi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> menjadi metana.

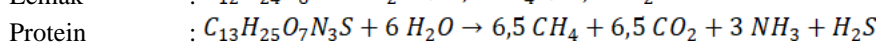
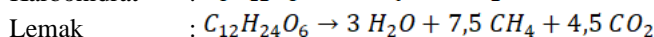
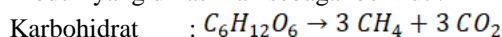
Sedangkan kandungan yang terbesar dari ampas kopi yaitu 12,4% selulosa, hemiselulosa arabinose 3,6%, lignin 23,90%, lemak 2,29%, protein 17,44%, dan kandungan lain hingga 100% (Ballesteros Lina, dkk. 2014). Karena secara umum masing-masing kandungan terbesar dari kotoran sapi dan ampas kopi adalah hampir sama, maka untuk memprediksi hasil produksi metana dan karbon dioksida dari reaksi fermentasi variasi perbandingan massa campuran kedua bahan tersebut, digunakan persamaan umum pembentukan metana dari biomassa campuran kotoran sapi dan air pada perbandingan yang sama [0:4:4] (Deublein D. and Steinhauser A., 2008):



$$x = 1/8 \cdot (4c + h - 2o - 3n - 2s) \quad (6)$$

$$y = 1/4 \cdot (4c - h - 2o + 3n + 3s) \quad (7)$$

Produk yang dihasilkan sebagai berikut :



Jika dihitung secara jumlah maka didapatkan produk 17 CH<sub>4</sub> dan 14 CO<sub>2</sub> dari rata-rata hasil reaksi pembentukan metana dan karbon dioksida di atas, sehingga dapat diprediksi bahwa penambahan kuantitas karbohidrat, lemak dan protein yang terkandung dalam reaktan ampas kopi melalui perbandingan [1:4:4] dan [4:4:4] dapat meningkatkan produktivitas metana dan gas karbon dioksida dalam reaksi, selain faktor penunjang lain yang mempengaruhi peningkatan laju reaksi seperti: jumlah reaktan, temperatur, luas permukaan, dan katalis (Mbulu, dkk., 2016).

## 2. METODE

### 2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian disini melalui penambahan ampas kopi terhadap campuran kotoran sapi dan air, yang nanti difermentasikan untuk melihat hasil terbesar dari biogas berupa kandungan metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Melalui variasi perbandingan ampas kopi, kotoran sapi, dan air [0:4:4], [1:4:4], dan [4:4:4] yang dijaga pada temperatur ruang 25°C-35°C, selanjutnya dilakukan pengambilan data setiap menit kenaikannya dengan durasi waktu 23 jam pada hari ke 13,14, dan 15 menggunakan sensor MQ-4 dan MQ-135 berbasis arduino uno, yang nantinya digunakan untuk melihat nilai laju produksinya.

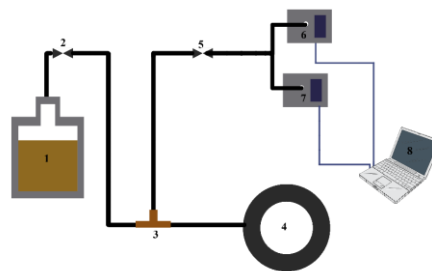
## 2.2 Bahan dan alat

Adapun perhitungan massa dari masing-masing variasi perbandingan tersaji pada Tabel 1. di bawah ini:

**Tabel 1.** Jumlah massa reaktan pada setiap variasi perbandingan

Nama Reaktan	Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> )	Jumlah massa terhadap 100 g ampas kopi tiap variasi perbandingan mol (gram)		
		[0:4:4]	[1:4:4]	[4:4:4]
Kotoran sapi (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )	1,5	407,54	407,54	407,54
Air (H <sub>2</sub> O)	1	30,19	30,19	30,19
Kopi (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )	1,23	0	100	400

Setiap satu perbandingan dimasukkan ke dalam satu tabung digester untuk dilakukan fermentasi dan diambil datanya pada hari ke 13, 14, dan 15, karena untuk digester tanpa isi ulang bahan baku atau pendukung lainnya produksi terbaik diantara 10-15 hari (Deublein D. and Steinhauser A., 2008). Adapun gambar skema alat uji yang digunakan dalam penelitian ini, tersaji pada Gambar 1 di bawah ini:



**Gambar 1.** Skema Alat uji (Bellatrix, 2021)

Keterangan:

1. Tabung digester botol air mineral 1,5 L
2. Stop kran Dorizo ¼ inch
3. Nepel selang cabang tiga ¼ inch (*Brass Y joint*)
4. *Gas Bag* (ban dalam sepeda motor 70/90-17)
5. Stop kran Dorizo ¼ inch
6. Sensor MQ-4
7. Sensor MQ-135
8. *Notebook* ASUS Model: E203M

## 2.3 Variabel Penelitian

Metode eksperimental dan metode kuantitatif digunakan pada penelitian ini, dengan menentukan variabel penelitian diantaranya:

- Variabel Bebas: perbandingan kotoran sapi dengan air 4:4 dalam ukuran gram.
- Variabel Terikat: jumlah variasi penambahan ampas kopi [perbandingan 0, 1, dan 4] dan EM4 = 20 mL
- Variabel Terkontrol: temperatur ruang 25-35°C.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Perhitungan Hasil Produksi

Perhitungan teoritis disini digunakan untuk mengetahui kandungan ppm (*part Per million*) yang dihasilkan dari persamaan umum pembentukan metana (5) yang nantinya digunakan sebagai pembanding terhadap hasil produksi tiap variasi perbandingan yang terdeteksi oleh sensor, melalui pendekatan persamaan gas ideal di bawah ini (Chemistry Libretexts, 2020):

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \text{ atau } P \cdot V = \frac{m}{M_r} \cdot R \cdot T \quad (8)$$

Dimana:

P = tekanan gas pada 1 atm

V = volume campuran yang menempati ruang = 0,25 L

n = jumlah molekul (hasil pers. 5)

Mr = massa relatif ( $\rightarrow$  CO<sub>2</sub> = 44,01 g/mol dan CH<sub>4</sub> = 16,043 g/mol)

R = konstanta gas universal = 0,080205 L.atm/K.mol

T = Temperatur kritis ( $\rightarrow$  CO<sub>2</sub> = 304,2 K dan CH<sub>4</sub> = 191,1 K)

m = massa gas

$$m = \frac{P \cdot V \cdot M_r}{R \cdot T} \text{ (g)}$$

$$m_{(CO_2)} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 0,25 \text{ L} \cdot 44,01 \text{ g/mol}}{0,080205 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 304,2 \text{ K}} = 0,45095 \text{ g}$$

Untuk standar temperatur dan tekanan (SATP)  $\dot{V}$  = volume mol gas (pada 25 °C dan 1 atm) = 24,45 L

$$\text{Untuk } 14 \text{ CO}_2 \text{ didapatkan nilai ppm} = \frac{m}{V} \cdot n = \frac{0,45095 \text{ g}}{24,45 \text{ L}} \cdot 14 = \frac{450,95 \text{ mg} \cdot 14}{24,45 \text{ L}} = 257,67 \text{ ppm}$$

$$\text{Untuk } 17 \text{ CH}_4 \text{ didapatkan nilai ppm} = \frac{m}{V} \cdot n = \frac{0,26168 \text{ g}}{24,45 \text{ L}} \cdot 17 = \frac{261,68 \text{ mg} \cdot 17}{24,45 \text{ L}} = 181,95 \text{ ppm}$$

### 3.2 Perhitungan Laju Produksi

Pengambilan data harian melalui sensor MQ-4 dan MQ-135 tiap variasi perbandingan dilakukan tiap menitnya selama 23 jam, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai rata-rata laju produksi per hari (nilai rata-rata pengambilan data dari hari ke-13 hingga hari ke-15) tiap variasi perbandingan terhadap hasil produksi dalam ppm/menit menggunakan persamaan regresi di bawah ini (Matandong, 2007):

$$m = \frac{(n \cdot (\sum X_1 Y)) - (\sum X_1)(\sum Y)}{(n \cdot \sum X_1^2) - (\sum X_1)^2} \quad (9)$$

$m$  : Laju Produksi rata-rata untuk tiap menit data pengambilan (ppm/menit)

$n$  : Jumlah variabel data yang digunakan jumlah menit pertama dan selanjutnya (tiap 2 data)

$\sum Y$  : Jumlah Variabel Bebas (jumlah ppm)

$\sum X_1$  : Jumlah Variabel Terikat (jumlah Waktu Pengambilan Data)

$\sum X_1^2$  : Jumlah Kuadrat tiap Variabel Terikat

$\sum X_1 Y$  : Jumlah Perkalian Variabel Terikat dan Variabel Bebas (jumlah perkalian Waktu dan ppm)

$x$  : Urutan waktu pengambilan

$b_x$  : Titik potong [ $y_x - mx$ ] (ppm)

$y_x$  : Hasil produksi tiap menit (ppm)

$y_x$  :  $mx + b_x$

- Nilai laju produksi CH<sub>4</sub> rata-rata terhadap hasil produksi, untuk variasi perbandingan [0:4:4] pada menit pertama data pengambilan:

$$m = \frac{(2 \cdot 377 - (3 \cdot 251))}{(2 \cdot 5) - (3)^2} = 0,00 \text{ ppm/menit}$$

- Nilai laju produksi CO<sub>2</sub> rata-rata terhadap hasil produksi, untuk variasi perbandingan [0:4:4] pada menit pertama data pengambilan:

$$m = \frac{(2 \cdot 381 - (3 \cdot 254))}{(2 \cdot 5) - (3)^2} = 0,00 \text{ ppm/menit}$$

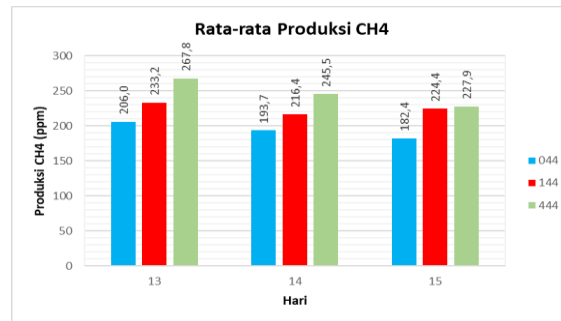
Artinya disini adalah laju produksi rata-rata pada menit pertama menuju kedua untuk CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> mengalami kestabilan sebesar 0,00 ppm. Sedangkan nilai laju produksi rata-rata CH<sub>4</sub> serta CO<sub>2</sub> pada menit pertama menuju kedua untuk perbandingan [1:4:4] dan [4:4:4]:

CH<sub>4</sub> = 0,33 ppm/menit dan 1,33 ppm/menit

CO<sub>2</sub> = 0,33 ppm/menit dan -0,33 ppm/menit

### 3.3 Hasil Rata-Rata Produksi Metana (CH<sub>4</sub>) Hari Ke-13 Hingga Hari Ke-15 Untuk Setiap Variasi Perbandingan

Pengaruh penambahan ampas kopi (reaktan) pada fermentasi biogas menyebabkan laju reaksi semakin meningkat sehingga molekul saling bertumbukan serta bereaksi, selain itu faktor kandungan selulosa dan protein pada ampas kopi mendukung pembentukan glukosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) serta pembentukan jamur yang dapat mempengaruhi perkembangan mikroorganisme dalam proses fermentasi sehingga akan mempengaruhi hasil reaksi dan berimbas pada peningkatan produksi metana (Mussatto, dkk., 2011). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. di bawah ini.



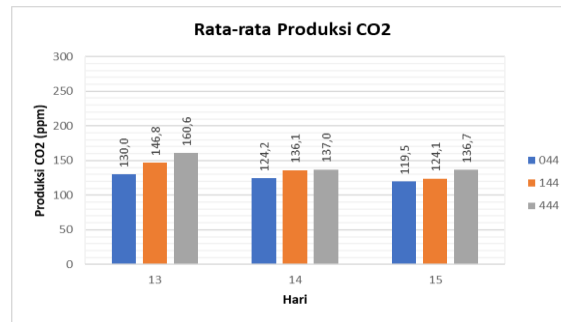
**Gambar 2.** Hasil rata-rata produksi metana hari ke-13 hingga hari ke-15 menggunakan Sensor MQ-4.

Dimana dari Gambar 2. di atas hasil rata-rata produksi metana tiap variasi perbandingan cenderung mengalami peningkatan dengan hasil rata-rata produktivitas metana yang terbaca oleh sensor MQ-4 pada hari ke-13 perbandingan [0:4:4] adalah 206,0 ppm, perbandingan [1:4:4] adalah 233,2 ppm, dan perbandingan [4:4:4] adalah 267,8 ppm. Pada hari ke-14 perbandingan [0:4:4] adalah 193,7 ppm, perbandingan [1:4:4] adalah 216,4 ppm, dan perbandingan [4:4:4] adalah 245,5 ppm. Sedangkan pada hari ke-15 perbandingan [0:4:4] adalah 182,4 ppm, perbandingan [1:4:4] adalah 224,4 ppm, dan perbandingan [4:4:4] adalah 227,9 ppm.

Jika hasil di atas dibandingkan dengan hasil persamaan teoritis (8), dimana didapatkan nilai kandungan metana dari persamaan umum pembentukan metana (5) sebesar 181,95 ppm. Perbedaan nilai teoritis yang lebih kecil di sini menunjukkan bahwa reaksi pembentukan metana termasuk reaksi dengan molekul kandungan lain yang terdapat pada kotoran sapi lebih sering terjadi, serta faktor penambahan reaktan ampas kopi semakin menambah kecepatan laju reaksi sehingga berimbas pada peningkatan produktivitas metana yang terdeteksi oleh sensor. Sedangkan penurunan konsentrasi produksi metana setiap variasi perbandingan setelah hari ke-13 disebabkan karena tidak adanya penambahan jumlah reaktan baru sebagai bahan tambah reaksi selanjutnya atau bisa dibilang jumlah reaktan yang direaksikan adalah tetap, dimana bahan yang ditaruh lama di dalam tabung digester akan mengakibatkan penurunan nilai pH atau bahan semakin asam, sehingga bakteri metanogenik yang berguna untuk menghasilkan metana tidak akan berkembang ketika nilai pH di bawah 6,5. Oleh karena itu faktor penambahan bahan atau reaktan baru yang mana disini mengandung unsur nitrogen (N) pastinya akan membantu meningkatkan nilai pH antara 7 hingga 8, sehingga bakteri metanogenik akan memproduksi metana secara stabil (FAO/CMS, 1996). Selain itu penurunan ini juga disebabkan oleh perlakuan pada gas metana yang dihasilkan tidak ditampung secara terus menerus selama 3 hari, melainkan setiap 23 jam gas hasil produksi yang sudah diambil datanya, kemudian dikosongkan atau dibuang dan selanjutnya dilakukan pengambilan data hasil produksi baru untuk hari selanjutnya.

### 3.4 Hasil Rata-Rata Produksi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Hari Ke-13 Hingga Hari Ke-15 Untuk Setiap Variasi Perbandingan

Pada Gambar 3. terlihat juga pengaruh penambahan ampas kopi (reaktan) pada fermentasi biogas, menyebabkan peningkatan pada produksi karbon dioksida. Dimana penambahan tersebut menyebabkan laju reaksi dan tumbukan antar molekul semakin meningkat. Selain itu juga dipengaruhi oleh faktor adanya unsur atom (C) yang terdapat pada ampas kopi pastinya akan berpengaruh terhadap hasil reaksi, hal ini dapat dilihat dari hasil rata-rata produktivitas karbon dioksida yang terbaca oleh sensor MQ-135 pada hari ke-13 perbandingan [0:4:4] adalah 130,0 ppm, perbandingan [1:4:4] adalah 146,8 ppm, dan perbandingan [4:4:4] adalah 160,6 ppm. Pada hari ke-14 perbandingan [0:4:4] adalah 124,2 ppm, perbandingan [1:4:4] adalah 136,1 ppm, dan perbandingan [4:4:4] adalah 137,0 ppm. Sedangkan pada hari ke-15 perbandingan [0:4:4] adalah 119,5 ppm, perbandingan [1:4:4] adalah 124,1 ppm, dan perbandingan [4:4:4] adalah 136,7 ppm.

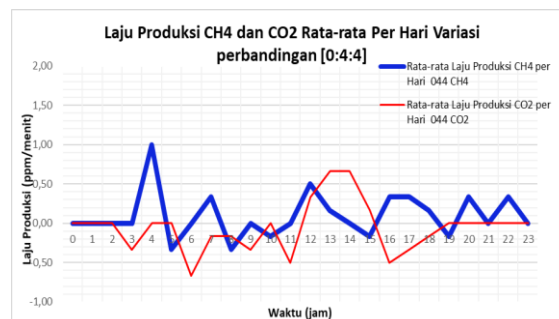


**Gambar 3.** Hasil rata-rata produksi karbon dioksida hari ke-13 hingga hari ke-15 menggunakan sensor MQ-135.

Jika hasil di atas dibandingkan dengan hasil persamaan teoritis (8), dimana didapatkan nilai kandungan metana dari persamaan umum pembentukan karbon dioksida (5) sebesar 257,67 ppm, perbedaan nilai perhitungan teoritis yang lebih besar menunjukkan bahwa karbon dioksida banyak yang diproduksi diawal proses. Oleh karena massa jenis karbon dioksida yang lebih besar daripada metana dimana massa jenis metana adalah 0,717 g/L dan massa jenis karbon dioksida adalah 1,98 g/L (Crittenden, J, dkk., 2012), kemungkinan menyebabkan molekul gas metana akan mudah terangkat ke atas sedangkan molekul gas karbon dioksida yang terproduksi di awal akan turun kebawah dan oleh bakteri metanogenik archaea direaksikan dengan molekul hidrogen (H<sub>2</sub>) atau diolah kembali untuk menghasilkan metana (Zhu, C., dkk. 2011). Proses tersebut berlangsung terus menerus, dan karena adanya penambahan ampas kopi maka proses reaksi tersebut akan lebih sering terjadi sehingga akan menurunkan konsentrasi produksi karbon dioksida serta meningkatkan konsentrasi produksi metana yang terdeteksi oleh sensor (Bellatrix, 2021). Sedangkan penurunan konsentrasi produksi karbon dioksida setiap variasi perbandingan setelah hari ke-13 disebabkan sama seperti uraian pembahasan pada sub-bab 3.3 tentang tidak adanya penambahan jumlah reaktan baru sebagai bahan tambah reaksi yang berpengaruh terhadap tingkat keasaman, serta perlakuan setelah waktu pengambilan data setiap 23 jam per harinya.

### 3.5 Laju Produksi Metana (CH<sub>4</sub>) dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Rata-Rata Per Hari Untuk Setiap Variasi Perbandingan

Laju produksi metana dan karbondioksida rata-rata per hari (nilai rata-rata pengambilan data dari hari ke-13 hingga hari ke-15) pada setiap variasi perbandingan, bertujuan untuk memperlihatkan seberapa besar rata-rata peningkatan atau penurunan laju produksi metana dan karbon dioksida setiap variasi perbandingan yang terjadi per menit pada setiap jamnya yang dapat didekati melalui perhitungan menggunakan persamaan (9). Hal ini selain dapat didekati dari nilai yang didapat juga melalui fluktuasi dari produksi metana dan karbon dioksida per menitnya pada setiap jam, dimana semakin besar jarak kenaikannya dari titik nol maka laju produksi akan meningkat dan berimbas deteksi pada hasil produksi selanjutnya. Untuk hasil laju produksi metana dan karbon dioksida rata-rata dari variasi perbandingan [0:4:4] per menitnya setiap jam, akan disajikan pada Gambar 4. di bawah ini.

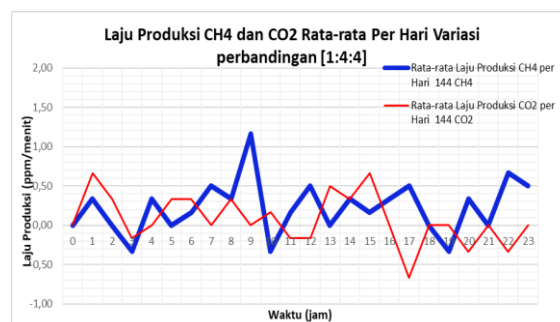


**Gambar 4.** Laju produksi metana dan karbon dioksida rata-rata pada variasi perbandingan [0:4:4]

Dari Gambar 4. di atas terlihat bahwa laju produksi metana dan karbon dioksida pada jam pertama mengalami kestabilan dalam produksi, hal ini disebabkan laju reaksi yang terjadi dalam tahap berkembang sehingga reaksi tumbukan antar molekul belum terlalu sering terjadi. Ini juga dapat dikaitkan dengan jumlah variasi perbandingan dimana semakin banyak jumlah massa air dalam fermentasi biogas akan berpengaruh

terhadap peningkatan gas metana (Wahyudi A. 2013), dimana pada nilai perbandingan antara kotoran sapi dan air dalam penelitian ini adalah sama dalam mol, sehingga menyebabkan bakteri metanogenik tidak terlalu berkembang dengan pesat untuk membentuk metana. Pada jam ke-4 laju produksi metana mengalami peningkatan yang signifikan dengan kenaikan tertinggi per menitnya dari persamaan (9) sebesar 1,00 ppm, disini bakteri mulai berkembang sehingga menyebabkan semakin banyak karbon dioksida yang diproduksi diawal direaksikan kembali dengan molekul lain seperti yang terlihat dimana laju produksi metana mengalami peningkatan yang signifikan sedangkan karbon dioksida mengalami sedikit peningkatan. Kemudian proses reaksi pembentukan karbon dioksida menjadi metana kembali terjadi setelah jam ke-5, dimana terlihat penurunan laju produksi per menitnya hingga 0,67 ppm. Selanjutnya pada jam ke-11 hingga ke-15 laju produksi metana dan karbon dioksida mengalami peningkatan, dimana kenaikan tertinggi per menitnya untuk metana pada jam ke-12 adalah 0,50 ppm dan produksi karbon dioksida tertinggi pada jam ke-13 adalah 0,67 ppm. Hal ini menjelaskan bahwa tumbukan antar molekul yang terjadi dalam reaksi adalah semakin cepat sehingga karbon dioksida yang diproduksi di awal semakin banyak dan pastinya banyak juga produknya yang bereaksi kembali dengan molekul yang lain untuk menghasilkan metana. Setelah jam ke-15 laju produksi metana cenderung stabil mengalami peningkatan dimana kenaikan tertinggi per menitnya adalah 0,33 ppm, sedangkan karbon dioksida cenderung menurun dan selanjutnya stabil dengan penurunan per menitnya hingga 0,50 ppm. Hal ini memperlihatkan bahwa laju reaksi mengalami sedikit penurunan, dimana waktu lebih banyak digunakan untuk mereaksikan karbon dioksida untuk menjadi metana. Jika dihubungkan dengan waktu fermentasi dimana ketika proses awal yang terjadi adalah bakteri metanogenik mengalami penyesuaian terhadap bahan baku, kemudian berkembang dengan pesat akibat adanya pemanfaatan nutrisi yang terdapat pada bahan baku tersebut sehingga meningkatkan laju produksi metana seperti yang terlihat pada jam ke-4 hingga ke-19. Dan selanjutnya fermentasi mengalami kestabilan akibat bakteri kekurangan nutrisi, sehingga produksi metana cenderung konstan atau bahkan bisa semakin menurun (Clinton D. 2015).

Hasil laju produksi metana dan karbon dioksida rata-rata pada variasi perbandingan [1:4:4] per menitnya setiap jam, akan disajikan pada Gambar 5. di bawah ini.

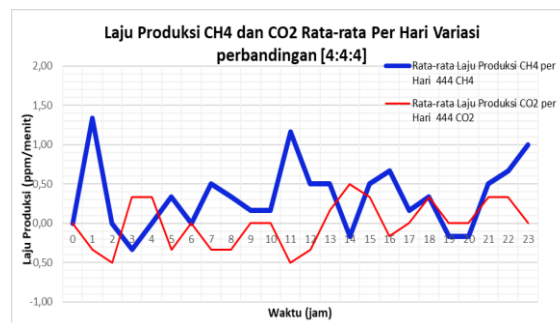


**Gambar 6.** Laju produksi metana dan karbon dioksida rata-rata pada variasi perbandingan [1:4:4]

Pada Gambar 6. di atas terlihat bahwa laju produksi metana dan karbon dioksida pada jam pertama menit-menit awal mengalami peningkatan, hal ini disebabkan oleh penambahan reaktan ampas kopi selain menyebabkan molekul yang saling bertumbukan dalam reaksi akan semakin banyak, juga akan memberikan peningkatan nilai pH pada fermentasi biogas sehingga bakteri metanogenik akan semakin berkembang. Dimana nilai peningkatan laju produksinya melalui persamaan (9) didapatkan kenaikan tertinggi per menitnya untuk metana adalah 0,33 ppm, sedangkan untuk karbon dioksida adalah sebesar 0,67 ppm. Untuk jam kedua terlihat laju produksi metana dan karbon dioksida mengalami penurunan rata-rata per menitnya sebesar 0,33 ppm dan 0,17 ppm, di sini menunjukkan saat dimana reaksi pembentukan sedang terjadi dan bakteri kembali melakukan reproduksi setelah menghasilkan produk. Pada jam ke-4 laju produksi metana kembali mengalami peningkatan hingga puncaknya pada jam ke-9 dengan kenaikan tertinggi per menitnya sebesar 1,17 ppm, disertai peningkatan karbon dioksida dengan dengan kenaikan tertinggi per menitnya sebesar 0,33 ppm. Dari sini dapat dilihat pengaruh penambahan sedikit ampas kopi berdampak terhadap laju produksi metana dan karbon dioksida, dimana jika ditinjau dari nilai perbandingan kenaikan tertinggi per menitnya variasi perbandingan ini lebih besar daripada variasi perbandingan [0:4:4] yang disajikan pada Gambar 4. Setelah bakteri memproduksi karbon dioksida dan metana, kemudian laju produksi metana mengalami penurunan pada jam ke-10. Dimana di sini berlangsung proses pembentukan karbon dioksida, disertai proses bakteri metanogenik bekerja untuk menghasilkan metana. Pada jam ke-11 hingga ke-18 laju produksi metana kembali mengalami peningkatan

dengan rata-rata kenaikan tertinggi per menitnya sebesar 0,50 ppm, diikuti dengan peningkatan laju produksi karbon dioksida tertinggi per menitnya sebesar 0,67 ppm pada jam ke-12 hingga jam ke-16. Di sini menunjukkan produk karbon dioksida yang sudah terbentuk tereaksi kembali dengan cara saling bertumbukan dengan molekul lain untuk menghasilkan metana yang dapat dilihat melalui penurunan laju produksi karbon dioksida pada jam ke-17 hingga 0,67 ppm. Kemudian laju produksi metana mengalami penurunan dan setelah jam ke-19 cenderung meningkat hingga jam terakhir dengan kenaikan tertinggi per menitnya yang terdeteksi oleh sensor adalah sebesar 0,67 ppm, sedangkan laju produksi karbon dioksida terlihat cenderung mengalami penurunan. Fluktuasi ini selain menunjukkan terjadinya proses reaksi antara pembetukan karbon dioksida dan reproduksi dari bakteri untuk menghasilkan metana, juga dapat dipengaruhi oleh faktor pengadukan yang tidak dilakukan secara berkelanjutan. Kemungkinan hal ini dapat mengakibatkan pengumpulan atau beberapa endapan pada bahan baku setelah mengalami proses penguraian, yang berimbas pada tingkat keseragaman temperatur pada campuran substrat di dalam digester (Mustakim, dkk. 2011).

Sedangkan hasil laju produksi metana dan karbon dioksida rata-rata per hari dari variasi perbandingan [4:4:4] per menitnya setiap jam, akan disajikan pada Gambar 6. di bawah ini.



**Gambar 6.** Laju produksi metana dan karbon dioksida rata-rata pada variasi perbandingan [4:4:4]

Pada Gambar 6. di atas terlihat bahwa laju produksi metana pada jam pertama menit-menit awal mengalami peningkatan yang cukup signifikan, dimana dengan penambahan massa ampas kopi yang lebih besar dari perbandingan [1:4:4] menyebabkan reaktan yang bereaksi semakin bertambah banyak lagi sehingga memberikan peningkatan nilai pH pada fermentasi biogas dan mempercepat bakteri metanogenik untuk semakin lebih berkembang. Kenaikan laju produksi metana pada jam pertama dengan nilai tertinggi per menitnya sebesar 1,33 ppm ini, disertai penurunan laju produksi karbon dioksida hingga 0,33 ppm per menitnya (9). Disini kembali memperlihatkan proses dimana reaksi tumbukan antar molekul berlangsung semakin cepat, sehingga banyak produk karbon dioksida yang terbentuk di awal tereaksi kembali menjadi metana akibat perkembangan bakteri metanogenik. Untuk jam kedua terlihat laju produksi metana mengalami penurunan tiap menitnya hingga 0,33 ppm karena proses reaksi pembentukan sedang terjadi, yang ditunjukkan melalui peningkatan laju produksi karbon dioksida hingga sebesar 0,33 ppm per menitnya. Setelah jam ke-4 laju produksi metana kembali cenderung menunjukkan peningkatan hingga jam ke-13, dengan nilai rata-rata laju produksi tertingginya hingga 1,17 ppm per menit. Hal ini disebabkan karena reaksi tumbukan antar molekul kembali terjadi sehingga menyebabkan bakteri metanogenik kembali bekerja untuk menghasilkan metana, yang dapat dilihat melalui rata-rata laju produksi karbon dioksida yang cenderung menurun hingga 0,50 ppm per menitnya. Laju produksi metana pada jam berikutnya mengalami penurunan dan meningkat kembali pada jam ke-14 hingga jam ke 18 dengan nilai tertinggi per menitnya sebesar 0,67 ppm, sedangkan karbon dioksida mengalami penurunan laju produksi hingga 0,17 per menitnya dan kemudian meningkat kembali per menitnya hingga 0,33 ppm. Untuk jam selanjutnya menunjukkan penurunan laju produksi metana dan setelah itu meningkat kembali sampai jam terakhir, sedangkan fluktuasi laju produksi karbon dioksida cenderung stabil hingga jam terakhir. Hal ini menunjukkan rata-rata proses pembentukan metana semakin sering terjadi per menit setiap jamnya akibat penambahan jumlah reaktan yang lebih banyak dalam reaksi, dan dapat juga dibuktikan melalui nilai laju produksi tertinggi per menitnya yang dihasilkan oleh variasi perbandingan [4:4:4] lebih besar dari pada variasi perbandingan yang lain. Sedangkan untuk laju produksi karbon dioksida dengan penambahan reaktan dalam proses reaksi maka laju produksi karbon dioksida juga mengalami peningkatan, yang dapat dilihat melalui hasil rata-rata peningkatan di atas titik nol pada Gambar 5,6 dan 7.



#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan ampas kopi yang sudah mengalami perlakuan ternyata membantu dalam proses fermentasi biogas, terbukti dapat meningkatkan hasil dan laju produksi metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dibandingkan dengan fermentasi biogas murni hanya dari campuran kotoran sapi dan air saja. Hal ini dapat dibenarkan dengan mengacu pada dasar peningkatan laju reaksi melalui jumlah reaktan, sehingga pemanfaatan sampah limbah organik hasil sisa produksi secara baik dapat mengurangi dampak kerusakan lingkungan akibat dibuang secara sembarangan.

#### PUSTAKA

- Anukam A., Mohammadi A., Naqvi M., and Granström K. July 2019. A Review of the Chemistry of Anaerobic Digestion: Methods of Accelerating and Optimizing Process Efficiency. *Processes*, vol. 7, no. 8, p. 504, doi: 10.3390/pr7080504
- B. Deepanraj, V. Sivasubramanian, and S. Jayaraj. 2014. Biogas generation through anaerobic digestion process—An overview. *Res. J. Chem. Environ.* 18, 80–93.
- Ballesteros Lina F., Teixeira José A., Mussatto Solange I. 2014. Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food Bioprocess Technol.* 7:3493–3503
- Bellatrix A.R., *Analisis Perbandingan Produksi Metana (CH<sub>4</sub>) Dan Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) Antara Kotoran Ternak Dengan Variasi Campuran Ampas Kopi Menggunakan Sensor MQ-4 dan MQ-135 Berbasis Arduino Uno.* 2021
- Chemistry Libretexts, 2020, *The Perfect Gas*, 15 Januari, tersedia di <https://chem.libretexts.org/@go/page/204455>, diakses 18 Maret 2021
- Clinton D., Herlina N. 2015. Pengaruh Waktu Fermentasi Dan Komposisi Limbah Kulit Buah Aren (Arenga Pinnata) Dengan Starter Kotoran Sapi Terhadap Biogas Yang Dihasilkan. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol 4, No. 3, pp. 46-51.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe K, J., & Tchobanoglous, G. 2012. *MWH's Water Treatment: Principles dan Design, 3rd ed.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Deublein D. and Steinhauser A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources.* KGaA, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- FAO/CMS. 1996. *Biogas technology: A training manual for extension.* Consolidated Management Services Nepal (P) Ltd
- Kementrian ESDM, 2014. *PP Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional*, tersedia di <https://www.esdm.go.id/assets/media/.../content-rencana-umum-energi-nasional-ruen.pdf>, diakses 15 maret 2021
- Lenka Blinova, Maros Sirotiak, Alica Bartosova, Maros Soldan. *UTILIZATION OF WASTE FROM COFFEE PRODUCTION.* 2017, 10.1515/rput-2017-0011, Volume 25, Number 40
- 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, pp. 1096–1101.
- Matondang Zulkifli, 2007. *Perhitungan Uji Linieritas dan Keberartian Persamaan Regresi.* Tersedia di [www.google.co.id/#q=+Dr.+ZulkifliMatondang%2C+M.Si.2007](http://www.google.co.id/#q=+Dr.+ZulkifliMatondang%2C+M.Si.2007), diakses 15 Maret 2021
- Mbulu, B.C.P., Wardana, I.N.G., dan Siswanto, E. Agust. 2016. Produksi Hidrogen dari Campuran Air dan Minyak Kelapa Murni (VCO) Melalui Porous Media Tembaga Menggunakan Prinsip Hydrogen Reformer. *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 7, n. 2, pp. 87 – 93.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., Teixeira, J. A. (2011). Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 661-672.
- Mustaqim, Farid A., Sugara S. 2011. Kemampuan Produksi Biogas Pada Digester Berbahan Fiberglass Berukuran 120 L. *Engineering*, Vol. 2, hal. 1-14.
- Wahyudi A., R. Iskandar. April 2013. Pengaruh komposisi Air Dalam Pembentukan Biogas Dari Enceng Gondok Waduk X Kota Padang Panjang Dan Feses Sapi. *Jurnal TEKNIKA Fakultas Teknik Universitas Andalas*. Vol. 20 No. 1:7-11.
- Widyasmara Ludfia, Pertiwinigrum Ambar dan Yusiati Lies Mira. Februari 2012. Pengaruh Jenis Kotoran Ternak Sebagai Substrat Dengan Penambahan Serasah Daun Jati (Tectona Grandis) Terhadap Karakteristik Biogas Pada Proses Fermentasi. *Buletin Peternakan*, Vol. 36(1): 40-47.
- Zhu, C., Zhang J., Tang Y., Zhengkai, Xu and Song R. 2011. Diversity of methanogenic archaea in a biogas reactor fed with swine feces as the mono-substrate by mcrA analysis. *Microbiological Research*, 166, issue 1: 27–35.