PROTON: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Mesin
E-ISSN: 2721-2874
P-ISSN: 2086-2962

Inovasi Penggunaan Limbah Ampas Kopi untuk Meningkatkan Hasil Biogas: Studi Eksperimental terhadap Emisi CH_4 dan CO_2

Angelica Regita Bellatrix [1]✉, Bernardus Crisanto Putra Mbulu[2]

[1,2] Prodi Teknik Mesin Universitas Katolik Widya Karya Malang
Jl. Bondowoso No.2, Malang, Indonesia
✉*Corresponding author*: horsebackbone98@gmail.com

Diterima Redaksi : 17 Februari 2025
Selesai Revisi : 30 April 2025
Diterbitkan Online : 22 Mei 2025

Abstract

Biogas is a widely recognized alternative energy source among Indonesian communities. It is produced through the anaerobic fermentation of livestock manure and water, and can be combined with other organic waste materials to enhance gas production. The addition of organic waste in biogas production has been shown to significantly influence the quantity and quality of the resulting gas output. Therefore, this research was conducted by introducing coffee dreg waste into the process to evaluate its effect on the production of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), using MQ-4 and MQ-135 gas sensors for detection. Data analysis revealed that the chemical components present in the added coffee dregs effectively increased the reaction rate during biogas production. This was demonstrated by the highest methane concentration achieved by the specimen with the largest coffee dreg content (444), reaching 247.033 ppm. Meanwhile, the highest carbon dioxide concentration was obtained from the specimen with a smaller amount of coffee dreg addition (441), measuring 141.202 ppm.
Keywords**:** *carbon dioxide, methane, coffee dregs, biogas, gas sensor*

Abstrak

Biogas merupakan sumber energi alternatif yang akrab di kalangan masyarakat Indonesia. Biogas sendiri merupakan fermentasi kotoran ternak dan air serta dapat dikombinasikan dengan limbah organik lainnya. Penambahan limbah organik dalam biogas dapat memberikan pengaruh terhadap produksi gas yang akan dihasilkan, oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan perlakuan penambahkan ampas kopi agar diketahui pengaruhnya terhadap produksi gas metana dan karbon dioksida yang diproduksi melalui deteksi sensor MQ-4 dan MQ-135. Berdasarkan analisa data yang didapatkan, diketahui bahwa unsur yang terdapat dalam ampas kopi yang ditambahkan dapat meningkatkan laju reaksi dalam pembuatan biogas. Hal dibuktikan dengan nilai produksi metana tertinggi diperoleh dari spesimen dengan campuran ampas kopi terbanyak (444), sebesar 247,033 ppm dan produksi karbondioksida terbanyak didapatkan spesimen yang penambahan ampas kopinya lebih sedikit (441), sebesar 141,202 ppm.
Kata kunci: karbon dioksida, metana, ampas kopi, biogas, sensor gas.

1. Pendahuluan

Pada dasarnya, biogas merupakan sumber energi alternatif yang merupakan hasil dari fermentasi kotoran (dalam kasus ini, kotoran ternak) secara anaerob [1]. Dalam pembuatannya biogas juga dapat dikombinasikan dengan limbah organik dan tetap menggunakan proses

anaerob [2][3]. Elemen gas utama penyusun biogas adalah metana (CH_4) sebesar 50-70% dan karbon dioksida (CO_2) sebesar 30-40% [4][5].

Penulis meneliti perbandingan efektivitas produksi gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan dari fermentasi kotoran ternak yang dicampur ampas kopi sebagai stater dan kotoran ternak yang tidak dicampur ampas kopi [5][6]. Tiap spesimen diberi notasi (44) untuk empat molekul selulosa dan air; (441) untuk satu molekul kopi, empat selulosa, dan empat air; serta (444) untuk empat molekul kopi, empat molekul selulosa, dan empat molekul air. Hasil produksi dari proses fermentasi tersebut akan dideteksi oleh sensor gas metana dan karbon dioksida dalam rupa sensor MQ-4 dan MQ-135 dengan basis mikrokontroller Arduino Uno [7].

Ampas kopi yang didapatkan oleh penulis adalah ampas kopi murni dari teko press dan mesin espresso kopi [3]. Proses penyeduhan kopi menggunakan mesin kopi espresso dan teko press membuat ampas kopi tidak tercampur dengan unsur lain seperti gula, atau susu. Ampas kopi juga berasal dari berbagai varietas biji kopi robusta dan arabika dari seluruh daerah di Indonesia.

Kotoran sapi mengandung sellulosa 25,2%, nitrogen 1,67%, lignin 20,2%, hemisellulosa sebesar 18,6% dan kandungan lain hingga 100% [1]. Sedangkan kotoran ternak yang diambil sebagai bahan spesimen pembuatan biogas oleh penulis adalah kotoran ternak sapi. Kotoran yang diambil berasal dari satu ekor sapi untuk tiga spesimen. Dalam jurnal yang lain juga disebutkan, kotoran sapi mengandung total padatan sebesar 3-6%, total padatan volatil 80-90%, hemiselulosa 20-25%, lignin 5-10%, total selulosa 15-20%, nitrogen 2-4% [4][8].

Proses pembuatan biogas dilakukan dengan cara memfermentasi bahan baku dari 7 hingga 15 hari hingga menghasilkan gas (CH_4) dan (CO_2) dalam persentase yang lebih besar. Untuk menghasilkan biogas waktu yang diperlukan untuk proses fermentasi sekitar 7 sampai 15 hari, dengan temperatur maksimal 35˚C dan pH maksimal pada kisaran 6,4-7,9. Bakteri pembentuk biogas yang digunakan yaitu bakteri anaerob seperti, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus* [5][9]. Sebagai contoh, pada pembuatan biogas dari selulosa yang terkandung dalam kotoran sapi, di mana selulosa ini lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerob. Reaksi pembentukan CH_4 adalah [5]:

$$(C_6H_{10}O_5)n + n\,H_2O \rightarrow 3n\,CO_2 + 3n\,CH_4 \quad (1)$$

Reaksi kimia dalam proses fermentasi biogas terjadi dalam 3 tahapan [5][9]:

1. Reaksi Hidrolisis/Tahap pelarutan

Tahap ini enzimatis terpecah dari unsur yang sulit larut contohnya lemak, protein polisakarida, asam nukleat maupun lainnya, menjadi unsur yang gampang larut. Selain itu bahan seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi karbohidrat dan asam lemak agar mudah larut dalam air. Proses pelarutan ini berlangsung pada digester dengan temperatur 25˚C.

Reaksi:

$$(C_6H_{10}O_5)n\,(s) + n\,H_2O(l) \rightarrow n\,C_6H_{12}O_6 \quad (2)$$

Di mana selulosa yang bereraksi dengan air akan menghasilkan glukosa.

2. Reaksi Asidogenik/Tahap pengasaman

Bakteri pada tahap ini menghasilkan asam, sehingga bakteri asam tersebut akan memecah glukosa menjadi produk-produk lain. Reaksi pada digester ini berlangsung antara temperatur 25˚C hingga 30˚C. Untuk reaksi asidogenik dari senyawa glukosa dapat ditulis sebagai berikut:

$$(C_6H_{12}O_6) \rightarrow 2n\,C_2H_5OH + 2n\,CO_2(\mathrm{g}) + kalor \quad (3)$$

Di mana, glukosa yang mengalami pemecahan enzimatis akan berubah menjadi etanol, karbon dioksida dan kalor.

$$2n\,(C_2H_5OH)(aq) + n\,CO_2(\mathrm{g}) \rightarrow 2n\,(CH_3COOH)(aq) + n\,CH_4(\mathrm{g}) \quad (4)$$

Di mana, etanol yang direaksikan dengan karbon dioksida, akan menghasilkan asam asetat dan metana.

3. Reaksi Metanogenik/Proses Pembentukan Gas Metana

Proses yang terjadi pada tahap ini adalah pembentukan gas metana dari bakteri metanogen dalam kondisi anaerob, di mana sistem kerja secara simbiosis dilakukan oleh bakteri-bakteri penghasil asam dan gas metan. Bakteri penghasil asam menciptakan kondisi atmosfer yang ideal bagi bakteri penghasil metan, sedangkan bakteri penghasil metan menggunakan asam yang dihasilkan oleh bakteri penghasil asam. Proses ini terus-menerus terjadi dan berlangsung selama kurun waktu 14 hari pada digester dengan temperatur antara 25˚C hingga 35˚C. Proses ini menghasilkan 70% CH_4, 30 % CO_2, dan bisa dengan sedikit H_2. Reaksi Secara umum dapat ditulis menjadi:

$$2n\ (CH_3\ COOH) \rightarrow 2n\ CH_4(\mathrm{g}) + 2n\ CO_2\ (\mathrm{g}) \tag{5}$$

Di mana, asam asetat akan terpecah menjadi gas metana gas karbon dioksida.

Sedangkan ampas kopi ($C_8H_{10}N_4O_2$) yang ditambahkan dalam proses fermentasi diperkirakan mampu menambah dan mempercepat produksi metana karena kandungan karbon yang cukup banyak, memiliki kandungan selulosa, dan kondisi ampas kopi yang cukup asam [3][6][10]. Pencampuran ampas kopi dengan variasi jumlah akan menghasilkan reaksi yang berbeda-beda. propena dan nitril dapat timbul sebagai hasil dari reaksi kimia tersebut, tergantung seberapa banyak jumlah kopi yang dimasukkan.

Tiap spesimen diberi notasi (44) untuk empat molekul selulosa dan air; (441) untuk satu molekul kopi, empat selulosa, dan empat air; serta (444) untuk empat molekul kopi, empat molekul selulosa, dan empat molekul air.

a. Persamaan Reaksi Kimia Spesimen (440)

Persamaan kimia berikut diperoleh dari perbandingan 4 molekul kotoran dan 4 molekul air yang produktivitasnya telah diuji oleh sensor.

$$4\ (C_6H_{10}O_5) + 4\ H_2O \rightarrow 12\ CH_4 + 12\ CO_2 \tag{6}$$

b. Persamaan Reaksi Kimia Spesimen (441)

Persamaan kimia berikut diperoleh dari perbandingan 1 molekul kopi, 4 molekul kotoran dan 4 molekul air yang produktivitasnya telah diuji oleh sensor.

$$C_8H_{10}N_4O_2 + 4\ C_6H_{10}O_5 + 4\ H_2O \rightarrow 14\ CH_4 + 12\ CO_2 + H_2 + 2\ CO + 4\ CN \tag{7}$$

c. Persamaan Reaksi Kimia Spesimen (444)

Persamaan kimia berikut diperoleh dari perbandingan 4 molekul kopi, 4 molekul kotoran dan 4 molekul air yang produktivitasnya telah diuji oleh sensor.

$$4\ C_8H_{10}N_4O_2 + 4\ C_6H_{10}O_5 + 4\ H_2O \rightarrow 18\ CH_4 + 13\ CO_2 + 4\ H_2 + C_3H_8 + 16\ CN \tag{8}$$

Dari reaksi kimia spesimen di atas, dapat diprediksikan bahwa dengan penambahan ampas kopi ke dalam fermentasi kotoran ternak, dapat menambah produksi jumlah gas metana dan karbon dioksida dalam proses produksi biogas.

2. Metode Penelitian

Rancangan penelitian

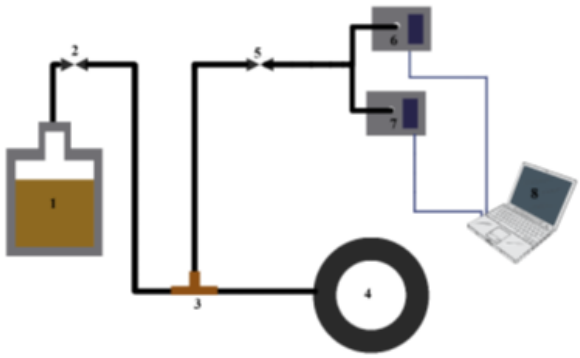
Penelitian dilakukan melalui perbandingan variasi kotoran ternak dan ampas kopi, di mana kotoran ternak secara spesifik yang digunakan berasal dari sapi betina yang menyusui milik biara Passionis Malang, sedangkan ampas kopi didapatkan dari ampas kopi espresso dari berbagai kafe di kota Malang. Untuk metode penelitian menggunakan metode ekperimental dan analisis, yang mana dari hasil yang didapatkan akan digunakan dalam pembahasan.

Adapun perbandingan massa dari kotoran ternak, ampas kopi dan air yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan pada Tabel 1. di bawah.

Tabel 1. Massa tiap variasi perbandingan

Reaktan	Massa variasi Perbandingan (gram)		
	[0:4:4]	[1:4:4]	[4:4:4]
Kotoran Sapi	407,54	407,54	407,54
Air	30,19	30,19	30,19
Ampas Kopi	0	100	400

Skema Penelitian



Gambar 1. Skema Alat Uji

Keterangan:

1. Digester
2. Stop kran yang mengarah pada *gas bag*
3. T-kuningan yang mengarah pada ban dan keran gas
4. Penampung gas dimodifikasi dari ban dalam sepeda motor
5. Stop kran yang mengarah pada kotak sensor
6. Sensor metana MQ-4
7. Sensor karbon dioksida MQ-135
8. Laptop penyimpan data sensor

Variabel Penelitian

Penentuan variabel penelitian ini, terbagi atas:

- Variabel Bebas: yaitu perbandingan massa air dan kotoran sapi 4:4;
- Variabel Terikat: yaitu variasi ampas kopi yang ditambahkan;
- Variabel Terkontrol: Suhu tabung digester.

Teknik Pengambilan Data

Variabel penelitian kotoran ternak dan air tanpa tambahan (440), 4 molekul kotoran ternak dan 4 molekul air dengan 1 molekul ampas kopi (441), 4 molekul kotoran ternak dan 4 molekul air dengan 4 molekul ampas kopi (444) dimasukkan ke dalam tabung digester, kemudian difermentasi selama 13 hari.

Setelah hari ke-13, stop kran dibuka sehingga gas hasil fermentasi tersebut akan mengalir menuju ban dalam motor yang telah dimodifikasi sebagai *gas bag*. Dari gas bag tersebut, dialirkan pada selang yang menuju dua kotak sensor di mana satu kotak berisi sensor MQ-4 untuk metana, dan yang lain berisi MQ-135 untuk karbon dioksida [11]. Pengalirannya diatur oleh keran yang terdapat pada selang menuju kedua kotak sensor. Hasil data pembacaan gas oleh sensor, akan diproses di dalam komputer. Proses ini dilakukan juga untuk hari ke-14 dan hari ke-15.

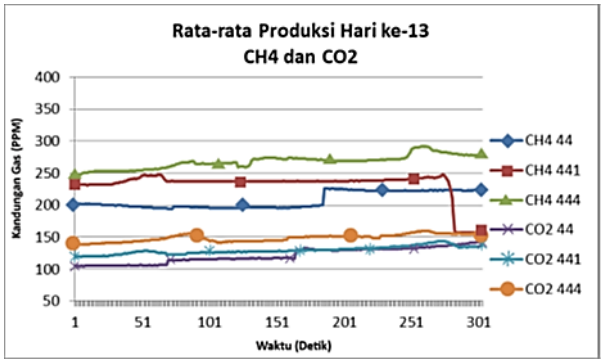
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil

Pengambilan data hasil gas metana dan karbon dioksida diambil sebanyak dua kali tiap spesimen 440, 441, dan 444 pada hari ke-13,14 dan 15. Selanjutnya hasil data tersebut dirata-rata dan ditampilkan pada grafik di bawah ini.

1. Gambar grafik rata-rata produksi metana dan karbon dioksida hari ke-13.

Diketahui pada Gambar 1. di bawah, untuk perolehan gas metana jika diurut dari yang terbesar hingga terkecil yaitu spesimen 444, 441, dan 440. Sedangkan untuk gas karbon dioksida adalah 444, 441, 440. Pengujian berlangsung selama 300 detik.

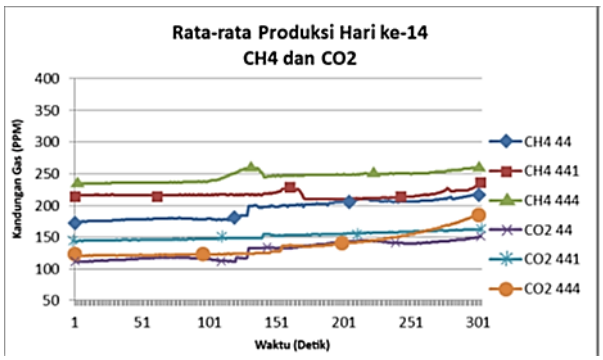


Gambar 2. Grafik Produksi Metana dan Karbon dioksida Hari ke-13

Pada Gambar 2. menunjukkan produksi metana tertinggi diperoleh spesimen 444, dengan rata-rata 267,886 ppm. Sementara produksi karbon dioksida tertinggi juga terdapat pada spesimen 444 dengan rata-rata 148,681 ppm. Hal ini terjadi karena penambahan ampas kopi terbukti dapat mempercepat pertambahan laju reaksi kedua gas tersebut [3][6][10]. Fluktuasi yang terjadi pada grafik karena aliran produk gas yang tidak konstan pada beberapa detik tertentu secara acak.

2. Gambar grafik rata-rata produksi metana dan karbon dioksida hari ke-14

Diketahui pada Gambar 2. di bawah, perolehan gas metana jika diurut dari yang terbesar hingga terkecil yaitu dari spesimen 444, 441, dan 440. Sedangkan untuk gas karbon dioksida adalah 441, 444, 440. Pengujian berlangsung selama 300 detik.



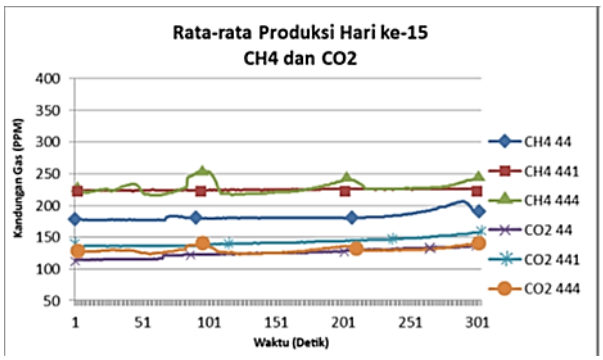
Gambar 3. Grafik Produksi Metana dan Karbon dioksida hari ke-14

Pada Gambar 3. produksi metana tertinggi diperoleh spesimen 444 dengan perolehan 245,440 ppm, dan produksi karbon dioksida tertinggi beralih ke spesimen 441 dengan perolehan 152,064 ppm. Karbon dioksida yang dihasilkan spesimen 441 ini cukup signifikan dari hari sebelumnya. Diketahui bahwa laju reaksi kedua gas tersebut dipengaruhi oleh ampas kopi, tapi dengan berkurangnya molekul ampas kopi yang ditambahkan, maka laju reaksinya juga sedikit

berkurang. Singkatnya, penambahan ampas kopi yang lebih sedikit memang akan menambah laju reaksinya, tetapi tidak akan secepat spesimen dengan ampas kopi yang lebih banyak. Sedangkan karbon dioksida adalah gas yang pertama kali terbentuk, maka masuk akal bila pertambahan karbon dioksida bisa menjadi signifikan pada hari tersebut [6].

3. Gambar grafik rata-rata produksi metana dan karbon dioksida hari ke-15

Diketahui pada grafik di bawah, perolehan gas metana jika diurut dari yang terbesar hingga terkecil yaitu dari spesimen 444, 441, dan 440. Sedangkan untuk gas karbon dioksida adalah 441, 444, 440. Pengujian berlangsung selama 300 detik.

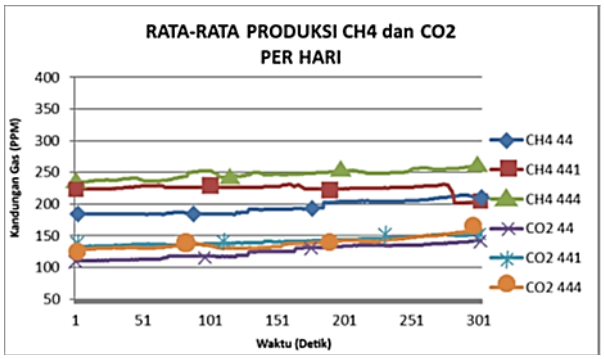


Gambar 4. Grafik Produksi Metana dan Karbon dioksida hari ke-15

Pada Gambar 4. produksi metana tertinggi diperoleh spesimen 444 dengan rata-rata produksi 227,772 ppm, dan produksi karbondioksida tertinggi diperoleh spesimen 441 dengan rata-rata produksi 142,234 ppm. Masih sama seperti hari sebelumnya, laju reaksi kedua gas tersebut dipengaruhi oleh seberapa banyak jumlah ampas kopi yang ditambahkan.

4. Grafik rata-rata produksi metana dan karbon dioksida tiap hari

Berikut adalah data rata-rata produksi metana dan karbon dioksida per hari.



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Produksi Metana dan Karbon dioksida Tiap Hari

Pada Gambar 5. di atas menunjukkan rata-rata total produksi gas metana dan karbon dioksida secara berurutan dari hari ke-13 hingga hari ke-15 oleh spesimen 440, 441, dan 444.

Pembahasan

Pembahasan data hasil pengujian akan diuraikan menjadi dua poin sebagai berikut:

1. Pengaruh produksi terhadap nilai metana dan karbon dioksida

a. Produksi Metana Tertinggi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi ampas kopi berpengaruh signifikan terhadap produksi gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) selama proses pembentukan biogas. Produksi metana tertinggi diperoleh pada spesimen 444 dengan nilai rata-rata 267,88 ppm, 245,44 ppm, dan 227,77 ppm dalam tiga hari berturut-turut, masing-masing pada durasi

pengukuran selama 300 detik. Tingginya nilai tersebut disebabkan oleh penambahan ampas kopi dalam jumlah yang lebih besar sehingga meningkatkan ketersediaan substrat organik bagi mikroorganisme metanogenik. Ampas kopi mengandung senyawa organik kompleks seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, serta komponen bioaktif seperti kafein dan asam klorogenat yang dapat diuraikan dalam kondisi anaerob menjadi senyawa sederhana sebagai prekursor pembentukan gas metana.

Secara umum, mekanisme pembentukan biogas dari limbah organik, termasuk ampas kopi, berlangsung melalui empat tahap utama yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis, senyawa kompleks seperti polisakarida dipecah menjadi molekul sederhana seperti glukosa. Selanjutnya pada tahap asidogenesis, glukosa difermentasi oleh bakteri asidogenik menjadi asam lemak volatil, alkohol, karbon dioksida, dan hidrogen. Tahap berikutnya yaitu asetogenesis, di mana asam-asam organik seperti asam propionat dan butirat diubah menjadi asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Pada tahap terakhir, yaitu metanogenesis, bakteri metanogenik mengubah asetat dan gas hidrogen menjadi metana dan air melalui dua jalur utama, yaitu jalur asetoklastik ($CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$) dan jalur hidrogenotrofik ($CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$). Semakin banyak kandungan organik yang dapat terdegradasi pada tahap awal, semakin tinggi pula jumlah asetat dan hidrogen yang terbentuk sehingga meningkatkan produksi metana pada tahap akhir.

b. Produksi Karbon dioksida Tertinggi

Sementara itu, produksi karbon dioksida tertinggi diperoleh pada spesimen 441 dengan nilai rata-rata masing-masing 129,3 ppm, 152,06 ppm, dan 142,23 ppm selama tiga hari pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa pada jumlah ampas kopi yang tidak terlalu banyak, reaksi degradasi organik masih dominan menghasilkan karbon dioksida sebagai produk antara dari proses asidogenesis dan asetogenesis. Gas CO_2 terbentuk lebih awal karena bakteri asidogenik dan asetogenik memiliki waktu pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dengan bakteri metanogenik. Pada kondisi tersebut, sebagian besar karbon dilepaskan dalam bentuk CO_2 sebelum mikroba metanogenik berkembang secara optimal untuk mengonversi senyawa asetat menjadi CH_4. Dengan demikian, produksi CO_2 lebih mendominasi pada komposisi ampas kopi yang lebih sedikit.

Fenomena ini memperlihatkan bahwa peningkatan rasio ampas kopi dalam campuran substrat mampu mempercepat tahapan biokimia hingga mencapai fase metanogenesis secara optimal. Sebaliknya, jika jumlah ampas kopi terlalu sedikit, proses berhenti pada tahap asetogenesis sehingga gas yang dihasilkan didominasi oleh karbon dioksida. Hal ini menegaskan bahwa pengaturan rasio bahan organik, khususnya limbah ampas kopi, berperan penting dalam menyeimbangkan populasi mikroba pengurai dan meningkatkan efisiensi konversi substrat menjadi biogas dengan kandungan metana yang lebih tinggi. Dengan kata lain, semakin tinggi penambahan ampas kopi dalam batas optimum, semakin besar pula potensi pembentukan metana yang dihasilkan dari proses pencernaan anaerob ini.

2. Pengaruh Penambahan Variasi Ampas Kopi Terhadap Produksi Metana dan Karbon dioksida

Pengaruh penambahan variasi ampas kopi telah jelas terlihat dalam data bahwa spesimen 444 menghasilkan metana yang lebih banyak. Unsur karbon, hidrogen, dan oksigen yang terkandung dalam ampas kopi terbukti membantu laju reaksi gas menjadi lebih cepat dan lebih baik [3][6][10]. Sedangkan faktor massa jenis metana yang lebih ringan dari karbondioksida, di mana densitas metana sebesar 0,657 kg/m^3 dan densitas karbon dioksida sebesar 1,98 kg/m^3, menyebabkan karbon dioksida yang lebih cepat terbentuk menjadi lebih berat dari metana. Hal ini menyebabkan gas karbondioksida yang terbentuk diolah secara berkelanjutan oleh bakteri untuk menghasilkan metana yang lebih banyak.

Sementara penambahan ampas kopi pada spesimen 441 juga mengalami peningkatan produksi, namun dengan hasil yang tak seoptimal spesimen 444. Laju reaksi spesimen 441 sedikit lebih lambat. Rata-rata total produksi gas metana dan karbon dioksida yang diperoleh oleh ketiga spesimen tersebut dituangkan kedalam sebuah tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Tabel Rata-rata Total Produksi Metana Tiap Hari

Hari	Waktu (detik)	Spesimen		
		[0:4:4]	[1:4:4]	[4:4:4]
13	300	207,3647	232,2789	267,8861
14	300	193,9356	216,599	245,4406
15	300	182,6716	224,6997	227,7723

Dari Tabel 2. di atas dapat diketahui bahwa perolehan metana tertinggi dihasilkan oleh spesimen 444 dan yang terendah dari spesimen 440.

Tabel 3. Tabel Rata-rata total Produksi Karbon dioksida Tiap Hari

Hari	Waktu (detik)	Spesimen		
		[0:4:4]	[1:4:4]	[4:4:4]
13	300	121,4901	129,3086	148,6815
14	300	129,5611	152,0644	136,6782
15	300	124,9241	142,2343	129,6749

Dari Tabel 3. di atas, diketahui pula bahwa perolehan karbon dioksida tertinggi berasal dari spesimen 441 dan terendah dari spesimen 440. Fluktuasi metana dan karbon dioksida yang ada dalam grafik, diakibatkan karena aliran gas dari *gas bag* menuju kotak sensor tidak secara konstan atau tidak dalam posisi yang stabil. Pada penelitian ini menunjukkan, bahwa produksi kedua gas metana dan karbondioksida tiap harinya semakin mengecil. Hal tersebut diakibatkan oleh volume gas yang semakin sedikit dari hari ke hari oleh pengujian. Gas-gas tersebut dibuang keluar untuk pengujian hari berikutnya, sehingga semakin lama, volume gas dalam *gas bag* akan semakin mengecil.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah ampas kopi memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan laju pembentukan gas pada proses produksi biogas. Ampas kopi yang kaya akan unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) terbukti mampu mempercepat aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik selama proses fermentasi anaerob. Kandungan senyawa organik kompleks seperti selulosa, hemiselulosa, dan kafein di dalam ampas kopi menyediakan sumber energi tambahan bagi bakteri pengurai, sehingga mempercepat tahapan hidrolisis hingga metanogenesis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi gas metana (CH_4) tertinggi diperoleh pada spesimen 444 dengan rata-rata produksi harian sebesar 247,033 ppm, sedangkan produksi karbon dioksida (CO_2) tertinggi dicapai oleh spesimen 441 dengan rata-rata 141,202 ppm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa variasi jumlah ampas kopi memengaruhi keseimbangan antara mikroorganisme asidogenik, asetogenik, dan metanogenik di dalam reaktor biogas. Penambahan ampas kopi dalam jumlah yang lebih besar mendorong proses biokonversi hingga tahap akhir pembentukan metana, sedangkan jumlah yang lebih sedikit menghasilkan dominasi karbon dioksida akibat proses yang berhenti pada tahap asetogenesis.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa inovasi penggunaan limbah ampas kopi sebagai bahan tambahan pada substrat biogas berpotensi meningkatkan efisiensi produksi gas

metana, sekaligus menjadi solusi pemanfaatan limbah organik yang ramah lingkungan dan bernilai energi.

Daftar Pustaka

[1] F. J. Ngabala and J. K. Emmanuel, "Potential substrates for biogas production through anaerobic digestion-an alternative energy source," *Heliyon*, vol. 10, no. 23. Elsevier Ltd, p. e40632, 2024. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40632.

[2] F. C. Luz, S. Cordiner, A. Manni, V. Mulone, and V. Rocco, "Anaerobic Digestion of Liquid Fraction Coffee Grounds at Laboratory Scale: Evaluation of the Biogas Yield," *Energy Procedia*, vol. 105, no. June, pp. 1096–1101, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.470.

[3] W. Czekała *et al.*, "Waste-to-energy: Biogas potential of waste from coffee production and consumption," *Energy*, vol. 276, p. 127604, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127604.

[4] D. A. A. Marcelino A. S., Viktor M. S., "KARAKTERISTIK PRODUK BIOGAS DARI BERBAGAI JENIS LIMBAH SAYUR SAWI," vol. 03, no. 02, pp. 30–36, 2022.

[5] B. C. P. Mbulu and A. R. Bellatrix, "PENGARUH PENAMBAHAN AMPAS KOPI PADA BIOGAS TERHADAP HASIL SERTA LAJU PRODUKSI METANA DAN KARBON DIOKSIDA," in *Prosiding Seminar Nasional Reset dan Teknologi Terapan (RITEKTRA) 2021*, 2021.

[6] S. Asefa, V. Ancha, N. Habtu, M. Al-Addous, and T. Limore, "Effect of spent coffee grounds addition on biogas and methaneyield from anaerobic digestion of tannery solid waste," 2025. doi: 10.21741/9781644903414-87.

[7] M.-Y. Shen *et al.*, "Improvement of gaseous bioenergy production from spent coffee grounds Co-digestion with pulp wastewater by physical/chemical pretreatments," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 96, pp. 40664–40671, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.041.

[8] D. Irawan and E. Suwanto, "Pengaruh Em4 (Effective Microorganisme) Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Kotoran Sapi," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 44–49, 2017, doi: 10.24127/trb.v5i1.118.

[9] Y. Vögeli, C. Riu, A. Gallardo, S. Diener, and C. Zurbrügg, *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*. 2014. [Online]. Available: http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/biowaste.pdf

[10] M. K. Jameel *et al.*, "Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review," *Results Chem.*, vol. 7, p. 101549, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101549.

[11] J. A. Helfy Susilawati, Ade Rukmana, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE MONITORING KADAR GAS CO, CO2, CH4 BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328P DI RUANGAN LABORATORIUM KIMIA," vol. 11, no. 1, pp. 22–29, 2020.