

ANALISIS PENGARUH EM4 TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI KOTORAN SAPI, KAMBING DAN KUDA SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF

Romi Aminulloh¹, Nely Ana Mufarida², Hairul Bahri³, Nurhalim⁴

Universitas Muhammadiyah Jember^{1,2,3,4}

e-mail: nelyana@unmuhjember.ac.id

ABSTRAK

Energi merupakan salah satu sumber yang tidak dapat dipisahkan dari masyarakat karena dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari terutama gas bumi. Ketergantungan masyarakat pada energi dengan seiring bertambahnya penduduk dan pasokan energi semakin menipis dapat menyebabkan krisis energi sehingga dibutuhkan solusi yaitu energi alternatif biogas. Pembuatan biogas pada penelitian ini menggunakan kotoran hewan ternak sapi, kambing serta kuda dengan starter EM4. Rumusan masalah bagaimana pengaruh starter EM4 pada kotoran sapi, kambing dan kuda terhadap volume gas yang dihasilkan, serta bagaimana pengaruh starter EM4 pada kotoran sapi, kambing dan kuda terhadap kestabilan pH. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pengujian yang meliputi rasio C/N pada bahan, pH awal hingga akhir, suhu, volume gas, komposisi gas dan fermentasi selama 32 hari. Hasil dan pembahasan pada penelitian ini yaitu kotoran kambing yang cocok sebagai energi alternatif karena memiliki rasio C/N yang ideal yaitu 21, untuk pH awal kotoran kambing yang ideal 7, pH campuran 6.8, pH akhir 5.0, memiliki suhu 26,6, volume gas tertinggi 7539.84 cm³, komposisi gas terdiri dari oksigen terkecil 3,6%, hydrogen sulfida terkecil 2 ppm, karbon dioksida 11 ppm dan yang utama gas metana tertinggi 786 ppm.

Kata Kunci: *pH, Volume gas, Komposisi gas*

ABSTRACT

Energy is a source that cannot be separated from society because it is needed in everyday life, especially natural gas. Society dependence on energy as the population increases and energy supplies become increasingly depleted can lead to an energy crisis, so a solution is needed, namely alternative energy, namely biogas. The biogas production in this research uses cow, goat and horse manure with EM4 starter. The problem formulation is how the EM4 starter in cow, goat and horse manure affects the volume of gas produced, as well as how the EM4 starter in cow, goat and horse manure affects pH stability. This research uses an experimental method with tests that include the C/N ratio of the material, initial to final pH, temperature, gas volume, gas composition and fermentation for 32 days. The results and discussion in this research are that goat manure is suitable as an alternative energy because it has an ideal C/N ratio of 21, the ideal initial pH of goat manure is 7, the pH of the mixture is 6.8, the final pH 5.0, has a temperature of 26.6%, the highest gas volume is 7539.84 cm³, the gas composition consists of the smallest oxygen 3.6%, the smallest hydrogen sulfide 2 ppm, carbon dioxide 11 ppm and most importantly the highest methane gas 786 ppm.

Keywords: *pH, gas volume, gas composition*

PENDAHULUAN

Energi merupakan komponen vital yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat modern. Ketergantungan yang sangat tinggi pada energi fosil, terutama gas bumi yang diolah menjadi *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) untuk kebutuhan memasak, telah menjadi sebuah keniscayaan (Badmus & Bakri, 2021; Cherian et al., 2021). Namun, ketergantungan ini

memunculkan dua masalah krusial. Pertama, sumber daya fosil bersifat terbatas dan tidak dapat diperbarui, sehingga eksploitasi yang terus-menerus tanpa diimbangi penemuan cadangan baru akan mengarah pada krisis energi di masa depan. Kedua, seiring bertambahnya populasi dan permintaan, harga energi fosil cenderung fluktuatif dan membebani kondisi ekonomi masyarakat. Sebagaimana ditekankan oleh Nuraini (2024), situasi ini menciptakan sebuah tantangan mendesak untuk mencari dan mengembangkan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan, terbarukan, dan mampu mengurangi beban ekonomi serta ketergantungan pada pasokan energi konvensional.

Menghadapi tantangan krisis energi tersebut, biogas muncul sebagai salah satu solusi energi alternatif yang paling menjanjikan dan relevan, khususnya untuk konteks masyarakat pedesaan dan agraris. Biogas adalah energi terbarukan yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen (*anaerobik*). Energi ini tidak hanya bersifat murah dan mudah diproduksi dalam skala rumah tangga, tetapi juga ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah yang seharusnya menjadi polutan (Manis et al., 2018; Sriharti et al., 2018; Teferra & Wubu, 2019). Komposisi utama biogas terdiri dari gas metana (CH_4) yang mudah terbakar, serta gas-gas lain seperti karbondioksida (CO_2), nitrogen (N_2), dan hidrogen (H_2). Seperti yang dijelaskan oleh Arisandy dan Mufarida (2019) serta Pratama (2020), kualitas biogas sangat ditentukan oleh konsentrasi metana yang tinggi, yang keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan baku dan efisiensi proses fermentasi.

Salah satu sumber bahan baku organik yang paling melimpah dan potensial untuk produksi biogas adalah limbah kotoran hewan ternak. Di banyak wilayah, kotoran hewan seperti sapi, kambing, dan kuda seringkali menjadi masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Pemanfaatan limbah ini sebagai bahan baku biogas menawarkan solusi ganda: mengubah limbah menjadi sumber daya energi yang berharga sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan (Fadliah et al., 2021; Farradinna et al., 2023; Khan et al., 2021). Proses produksi biogas dari kotoran ternak ini terjadi melalui fermentasi anaerobik, di mana mikroorganisme secara alami menguraikan senyawa organik kompleks menjadi gas metana. Proses ini tidak hanya menghasilkan bahan bakar, tetapi juga produk sampingan berupa pupuk organik padat dan cair (*slurry*) yang sangat bermanfaat untuk meningkatkan kesuburan tanah, menciptakan sebuah sistem ekonomi sirkular di tingkat peternakan.

Untuk mengoptimalkan proses fermentasi anaerobik, seringkali diperlukan penambahan *starter* atau inokulan mikroba. Salah satu produk yang umum digunakan adalah *Effective Microorganisms 4* (EM4). Sebagaimana dijelaskan oleh Putra dan Nurhalim (2020), EM4 adalah kultur campuran berbagai jenis mikroorganisme menguntungkan yang bekerja secara sinergis, seperti bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, dan ragi. Penambahan EM4 ke dalam bahan baku biogas bertujuan untuk mempercepat laju dekomposisi bahan organik, menstabilkan kondisi lingkungan di dalam digester (seperti pH), dan pada akhirnya meningkatkan efisiensi produksi gas metana. Dengan memperkaya populasi mikroba yang efektif, diharapkan proses fermentasi dapat berjalan lebih cepat dan menghasilkan volume serta kualitas gas yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses yang hanya mengandalkan mikroorganisme alami dari kotoran ternak (Li et al., 2021; Sukmawati et al., 2018; Zheng et al., 2018).

Meskipun potensi biogas dari berbagai jenis kotoran ternak telah diketahui, pengaruh spesifik dari penambahan starter EM4 terhadap variabel-variabel kunci produksi masih memerlukan analisis yang lebih mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk menjawab beberapa pertanyaan penting. Rumusan masalah utama adalah: bagaimana pengaruh penambahan starter EM4 pada kotoran sapi, kambing, dan kuda terhadap volume gas yang dihasilkan? Dan bagaimana pengaruhnya terhadap kestabilan nilai pH selama proses

fermentasi? Sejalan dengan itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis secara kuantitatif perbedaan volume gas yang diproduksi oleh ketiga jenis kotoran ternak dengan perlakuan EM4, serta menganalisis kemampuan EM4 dalam menjaga kestabilan pH, yang merupakan faktor krusial bagi kelangsungan hidup mikroorganisme penghasil metana.

METODE PENELITIAN

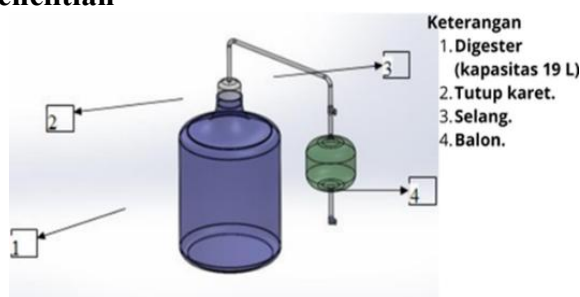
Metode pada penelitian ini yaitu menganalisis fenomena eksperimen dengan mengumpulkan data yang dapat diukur secara objektif dan menggunakan alat atau instrumen tertentu. Tempat penelitian yaitu bertempat di rumah atau kontrakan dengan menggunakan alat-alat yang ada di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Jember. Waktu penelitian yaitu 32 hari mulai dari bulan April sampai dengan Mei. Pengambilan bahan di Wisata rembangan dan Desa kaliurang Jember .

Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut.

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| Alat: 1. Galon air | Bahan: 1. Kotoran sapi |
| 2. Termometer | 2. Kotoran kambing |
| 3. Kantong plastik | 3. Kotoran kuda |
| 4. Kertas pH | 4. EM4 |
| 5. Gas multi detector | 5. Air |
| 6. Skop | |
| 7. Timbangan | |
| 8. Gelas ukur | |
| 9. Timba | |

Desain Alat Digester Penelitian



Gambar 1. Digester

Berikut keterangan gambar di atas:

1. Memakai tempat digester sederhana yaitu galon air 19 liter untuk tempat fermentasi.
2. Menggunakan karet ban dan solasi lakban di tutup galon supaya gas tidak keluar.
3. Menggunakan media selang sebagai perantara gas menuju ke plastik.
4. Memakai kantong plastik sebagai penyimpanan gas yang dihasilkan

Rancangan Penelitian

Pada rancangan penelitian ini meliputi perbandingan bahan/substrat yang di variasikan dapat di lihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Perlakuan Bahan

No	Perlakuan Bahan	Kotoran Sapi	Kotoran Kambing	Kotoran Kuda	Air	EM4	Total
1	D1	85%	-	-	10%	5%	100 %

2	D2	-	85%	-	10%	5%	100%
3	D3	-	-	85%	10%	5%	100%

Tahapan Proses Penelitian

1. Pada tahapan proses penelitian ini meliputi pengolahan bahan baku, pengecekan rasio C/N, pengontrolan pH, pengaturan suhu, volume dan waktu fermentasi, sebagai berikut.
2. Pertama siapkan limbah kotoran hewan ternak di perternakan dan tampung pada timba.
3. Aduk limbah kotoran hewan ternak dengan ditambahkan air.
4. Kemudian siapkan EM4
5. Mencampur kotoran sapi, kambing, kuda dan EM4 dengan perlakuan bahan seperti D1, D2, D3 kemudian diaduk dengan alat pengaduk.
6. Kemudian mengecek ratio C/N pada bahan.
7. Melakukan pengecekan pH pada masing-masing bahan
8. Jika ratio C/N sudah sesuai, pH sudah netral, suhu sudah optimal, kemudian digester ditutup rapat, selanjutnya dilakukan pemantauan volume gas (L) dan komposisi gas.
9. Terakhir proses pengujian di lakukan 4 hari sekali selama 32 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini telah dilakukan pembuatan biogas dari kotoran sapi, kotoran kambing, kotoran kuda dan campuran Em4 (0,85ml) dengan menghasilkan pengujian meliputi rasio C/N, nilai pH awal hingga akhir, suhu (°C), volume biogas (Cm³), komposisi gas yang terdiri dari empat kandungan gas yaitu oksigen (O₂), hydrogen sulfida (H₂S), karbon dioksida (CO₂), gas metana (CH₄). Adapun penelitian ini meliputi sebagai berikut :

D1 : Kotoran sapi dan Em4

D2 : Kotoran kambing dan Em4

D3 : Kotoran kuda dan Em4

Hasil

Rasio C/N

Kandungan pengunjin rasio C/N dalam penelitian ini menggunakan metode yang umum digunakan untuk menentukan kandungan karbon organik dalam sampel bahan organik yaitu metode Walkley and Black dengan menggunakan rumus perbandingan kandungan karbon dan nitrogen pada bahan, sebagai berikut:

1. D1: Kotoran sapi (C:40% dan N:2%)

$$\text{Rasio C/N: } \frac{C}{N} = \frac{40}{2} = 20$$

2. D2: Kotoran kambing (C:42% dan N:2%)

$$\text{Rasio C/N: } \frac{C}{N} = \frac{42}{2} = 21$$

3. D3: Kotoran kuda (C:46% dan N:1,5%)

$$\text{Rasio C/N: } \frac{C}{N} = \frac{46}{1,5} = 30,6$$

Nilai pH

Pengecekan pH dilakukan tiga kali yaitu pada awal bahan sebelum dicampur, kondisi saat dicampur EM4 dan kondisi akhir setelah penelitian. Berikut tabel nilai pH pada setiap perlakuan bahan.

Tabel 2. Nilai pH

Perlakuan	Sesudah di		
	Awal	campur	Akhir
D1	7.0	6.5	7.5
D2	7.0	6.8	7.4
D3	8.0	6.8	7.4

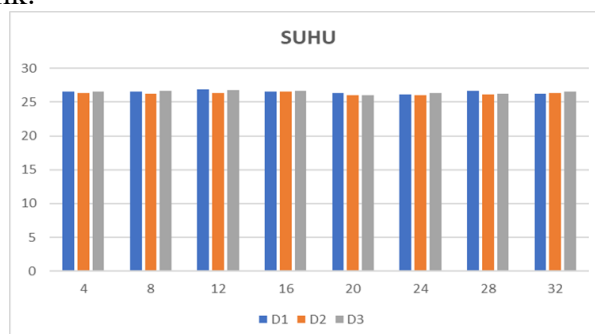
Berdasarkan Tabel 2 di atas, pH awal yang dimiliki oleh D1 yaitu sapi memiliki pH 7.0 bersifat sedikit basah, sesudah dicampur turun menjadi 6.5 yang menandakan sedikit asam dan netral sehingga proses fermentasi efisien, untuk pH akhir yaitu 7.5 menandakan sedikit basah bisa dimanfaatkan sebagai pupuk karena stabilnya mikroorganisme, adanya unsur hara dan aman untuk tanaman.

Pada perlakuan bahan D2 yaitu kambing pH awal 7.0 sedikit basah namun lebih kering dan padat dari kotoran sapi, setelah dicampur pH menjadi 6.8 menandakan sedikit asam dan proses fermentasi produktif karena asam lemak mulai terurai, metanogen bekerja aktif serta produksi methana mulai meningkat, sedangkan pH akhir 7.4 sedikit basah ideal untuk pupuk organik yang sudah matang karena menunjukkan keseimbangan kimia yang baik, aman untuk mengaplikasikan langsung ke tanah dan meningkatkan efisiensi penyerapan hara oleh tanah.

Pada perlakuan bahan D3 yaitu kuda pH awal 8.0 termasuk kategori basah ringan dan tidak ideal sehingga menghambat aktivitas mikroba metanogenik, setelah dicampur turun menjadi 6.8 menandakan pH menjadi ideal dan aktivitas mikroba mulai bekerja, untuk pH akhir sama dengan perlakuan bahan D2 yaitu sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai pupuk alami.

Suhu atau Temperatur

Suhu dalam pembuatan biogas penting dilakukan karena mempengaruhi produksi biogas. Pengecekan suhu dilakukan di bagian luar digester atau lingkungan sekitar galon dengan menggunakan termometer. Berikut suhu pada setiap perlakuan bahan yang diaplikasikan pada grafik.



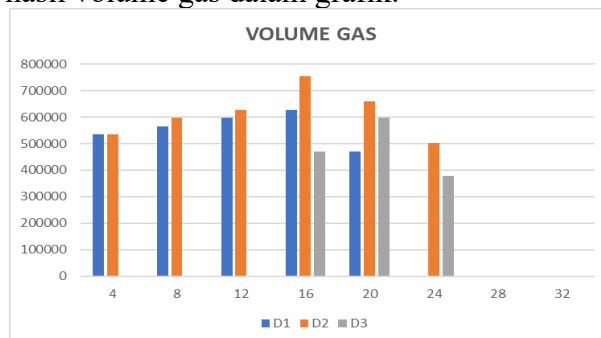
Gambar 2. Grafik Suhu

Berdasarkan grafik diatas hasil pengukuran suhu tertinggi pada D1 yaitu sapi berada dihari ke-12 sebesar 26,9 °C dan suhu terendah berada di hari ke-24 yaitu 26,1 °C, pada D2 yaitu kambing suhu tertinggi berada di hari ke-16 sebesar 26,6 °C sedangkan suhu terendah pada hari ke-20 dan 24 yaitu memiliki suhu yang sama 26,0 °C, pada D3 yaitu kuda suhu tertinggi berada di hari ke-12 sebesar 26,8 °C sedangkan suhu terendah berada di hari ke-20 dan 24 yaitu 26,4°C Berdasarkan data di atas dapat di simpulkan bahwa bakteri yang terdapat pada digester masih bisa hidup di suhu 26 °C sampai 26.9 °C. Pada pembuatan biogas bersekala besar

dalam waktu 46 hari berada pada suhu 25-40°C, sedangkan pada proses pembuatan biogas skala kecil umumnya bekerja pada suhu *mesophilic* dengan suhu antara 25°C-37°C (Dwivannie, 2020).

Volume Gas

Pada penelitian ini volume gas diambil setiap 4 hari sekali untuk mengetahui hasil volume gas dari masing-masing perlakuan bahan D1,D2 dan D3 dengan menggunakan alat gas multi detector. Berikut hasil volume gas dalam grafik.



Gambar 3. Grafik Volume Gas

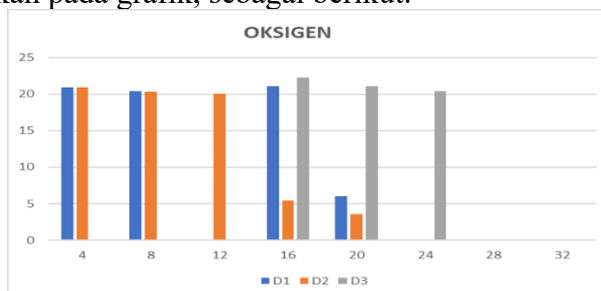
Berdasarkan grafik di atas, hasil penghitungan volume gas pada perlakuan bahan D1 yaitu sapi yang paling besar 6283.20 cm³ pada hari ke-16 sedangkan D2 kambing memiliki volume gas yang paling tinggi 7539.84 cm³ pada hari ke-16 dan untuk D3 kuda 5969.04 cm³ yang paling tinggi pada hari ke-20. Menurut peneliti terdahulu, naik serta turunnya volume gas dihasilkan dari terbentuknya gas dan semakin tinggi volume gas semakin banyak gas yang dihasilkan terutama gas methana (Iriani dan Yulistiani, 2017).

Komposisi Gas

Dalam proses produksi biogas terdapat beberapa kandungan gas yang berada di dalamnya seperti kandungan Oksigen (O₂), Hidrogen Sulfide (H₂S), Karbon Dioksida (CO₂) dan Methana (CH₄) dengan menggunakan alat gas *detector*. Berikut kandungan yang ada di dalam perlakuan bahan D1, D2 dan D3.

Oksigen (O₂)

Hasil dari kandungan oksigen pada penelitian ini memiliki perbedaan setiap perlakuan bahan yang di aplikasikan pada grafik, sebagai berikut.

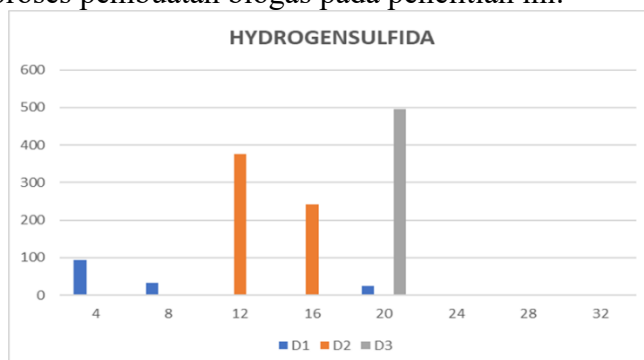


Gambar 4. Kandungan Oksigen

Berdasarkan grafik diatas pada kandungan oksigen terbesar yaitu pada perlakuan bahan D1 yaitu sapi sebesar 22,3 % pada hari ke-16, sedangkan yang terendah ada diperlakukan bahan D2 yaitu kambing 3,6 di hari ke-20. Menurut peneliti terdahulu meskipun oksigen tidak diperlukan dalam pembuatan biogas namun, kandungan oksigen yang tinggi dapat mengurangi produksi gas metana, sedangkan kandungan yang rendah dapat meningkatkan hidrolisis dan degradasi bahan organik yang kompleks (Wijayanti, 2024).

Hidrogen Sulfide H₂S

Kandungan hydrogen sulfida ini merupakan gas yang terbentuk secara alami dari bahan organik yang mengandung sulfur seperti protein dan asam amino, berikut grafik kandungan hydrogen sulfida dalam proses pembuatan biogas pada penelitian ini.

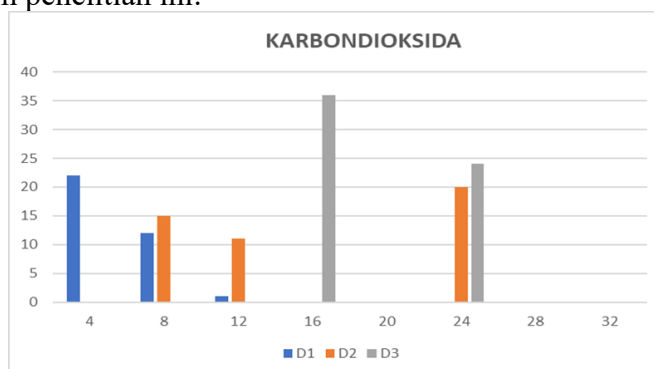


Gambar 5. Kandungan Hydrogen Sulfida

Berdasarkan grafik di atas kandungan hydrogen sulfida tertinggi pada perlakuan bahan D3 yaitu kuda sebesar 495 ppm pada hari ke-20, sedangkan kandungan terkecil terdapat pada perlakuan bahan D2 yaitu kambing 2 ppm pada hari ke-24. Dalam pembuatan biogas kandungan hydrogen sulfida yang tinggi dapat menyebabkan korosi atau merusak alat yang mengandung besi di dalam digester (Sharma, 2021).

Karbon Dioksida (CO₂)

Proses pembuatan biogas karbon dioksida memiliki peran penting sebagai efek samping alami untuk mengindikaor efesiensi proses produksi biogas, berikut grafik kandungan karbondioksida dalam penelitian ini.

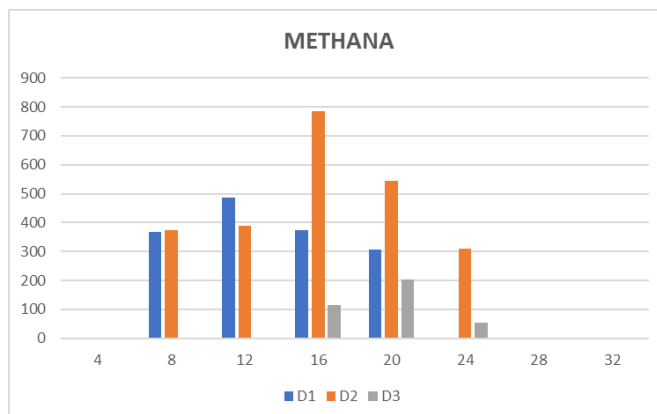


Gambar 6. Kandungan Karbon Dioksida

Berdasarkan grafik di atas yang memiliki kandungan karbon dioksida terbesar ada diperlakukan bahan D3 yaitu kuda sebesar 36 ppm pada hari ke-16, sedangkan yang memiliki kandungan terendah ada diperlakukan bahan D2 yaitu kambing 1 ppm pada hari ke-12. Menurut peneliti terdahulu apa bila kandungan karbon dioksida tinggi akan menyebabkan proses fermentasi yang kurang efisien serta menurunkan nilai kalor biogas sehingga efisiensi pembakaran akan berkurang (Ardhiany, 2019).

Gas Metana (CH₄)

Pada pembuatan biogas gas methana merupakan komponen utama dalam proses produksi biogas, untuk mengetahui kandungan methana menggunakan nilai LEL (Lower Explosive Limit) yang terdapat di dalam alat gas detector. Berikut grafik kandungan gas methana pada D1,D2 dan D3 pada penelitian ini.



Gambar 7. Kandungan Gas Methana

Berdasarkan data grafik diatas bahwa kandungan gas methana yang tinggi ada pada perlakuan bahan D2 yaitu kambing sebesar (785 ppm) pada hari ke-16 sedangkan perlakuan bahan D1 sapi memiliki empat kandungan gas methana yaitu pada hari ke-8 (367ppm), 12 (485 ppm), 16 (37 ppm) dan 20 (306 ppm), untuk perlakuan bahan D3 yaitu kuda memiliki kandungan gas methana yang minim yaitu tiga kandungan gas methana pada hari ke-16 (115ppm), 20 (204 ppm) dan 24 (53 ppm) dalam hal ini, dapat disimpulkan pada penelitian ini kotoran kambing sangat potensial dimanfaatkan sebagai energi alternative rumah tangga karena mengandung gas methana terbesar dari ketiga bahan tersebut.

Pembahasan

Hasil rasio C/N pada penelitian ini menunjukkan kotoran kambing (D2) memiliki nilai C/N sebesar 21, yang berada dalam rentang ideal (20–30) untuk proses fermentasi anaerobik biogas. Rasio ini memfasilitasi keseimbangan antara sumber karbon sebagai substrat energi dan nitrogen sebagai pendukung pertumbuhan mikroba metanogenik. Sebaliknya, kotoran sapi (D1) dengan rasio C/N 20 dan kotoran kuda (D3) dengan rasio C/N 30,6 menunjukkan bahwa meskipun keduanya masih dapat menghasilkan biogas, aktivitas mikroba pada D3 cenderung terhambat pada fase awal karena rasio C/N yang lebih tinggi memerlukan waktu adaptasi mikroorganisme untuk mencapai rasio optimal. Temuan ini konsisten dengan penelitian Pratama (2020) yang menyatakan bahwa rasio C/N ideal penting untuk memaksimalkan produksi metana karena mencegah akumulasi amonia berlebih maupun kekurangan nitrogen yang dapat menurunkan efisiensi fermentasi.

Nilai pH pada setiap perlakuan mengalami penurunan setelah penambahan EM4, dari kondisi awal yang netral hingga sedikit asam (6,5–6,8). Penurunan pH ini menandakan terjadinya pembentukan asam organik sebagai intermediat fermentasi yang kemudian dimetabolisme oleh mikroba metanogenik menjadi metana. Pada akhir proses, pH kembali meningkat (7,4–7,5), mencerminkan stabilitas sistem dan berkurangnya akumulasi asam. Kondisi pH akhir yang kembali mendekati netral sangat penting untuk memelihara aktivitas mikroba metanogenik dan menyiapkan residu fermentasi sebagai pupuk organik dengan mikrobia yang telah matang. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Iriani dan Yulistiani (2017) yang menyebutkan pH stabil dalam kisaran 6,8–7,5 optimal untuk kedua tahapan fermentasi asidogenik dan metanogenik.

Parameter suhu yang berada di kisaran 26,0–26,9 °C sepanjang 32 hari fermentasi menunjukkan kondisi mesofilik yang mendukung kelangsungan hidup dan aktivitas mikroba biogas. Suhu ini sedikit di bawah rentang mesofilik tipikal (30–37 °C), namun data menunjukkan mikroba pada digester sederhana masih mampu beradaptasi dan menghasilkan

gas secara konsisten. Variasi suhu yang minimal antar hari dan antar perlakuan memperlihatkan desain digester sederhana dengan galon 19 L cukup stabil dalam mengurangi fluktuasi termal. Dwivannie (2020) menyebutkan bahwa fermentasi mesofilik dapat tetap berlangsung pada suhu rendah hingga 25 °C, walaupun dengan laju produksi biogas yang sedikit menurun, namun tidak signifikan seperti terlihat pada volume gas D2.

Analisis volume dan komposisi gas memperkuat keunggulan kotoran kambing sebagai substrat unggulan. Volume gas tertinggi mencapai 7.539,84 cm³ pada hari ke-16, dengan kandungan metana maksimum 786 ppm, jauh melampaui perlakuan D1 dan D3. Kadar oksigen dan H₂S yang rendah (3,6 % dan 2 ppm) menunjukkan efisiensi degradasi bahan organik tanpa gangguan oksidatif maupun korosi peralatan. Kandungan CO₂ yang rendah (11 ppm) juga menandakan proses metanogenesis yang dominan, sesuai dengan karakteristik biogas berkualitas tinggi. Temuan ini selaras dengan penelitian Ardhiyany (2019) yang mengaitkan rasio C/N ideal dan kondisi pH optimal dengan peningkatan proporsi metana dalam biogas.

Secara keseluruhan, penerapan starter EM4 pada kotoran kambing memberikan keuntungan ganda: mempersingkat waktu adaptasi mikroba, menjaga stabilitas pH dan suhu fermentasi, serta memaksimalkan volume dan mutu biogas. Untuk aplikasi rumah tangga, penggunaan kotoran kambing dengan EM4 dapat menjadi solusi energi alternatif yang efektif. Sementara itu, kotoran sapi dan kuda masih potensial dengan penyesuaian rasio C/N atau penambahan bahan organik lain untuk mengoptimalkan proses fermentasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa biogas dari limbah organik kotoran hewan ternak merupakan energi alternatif yang potensial dan ramah lingkungan untuk bahan bakar rumah tangga. Studi ini secara spesifik menemukan bahwa di antara bahan baku yang diuji, kotoran kambing dengan starter EM4 menunjukkan potensi tertinggi karena komposisinya memenuhi kriteria ideal, seperti rasio C/N, pH, dan suhu yang optimal, sehingga menghasilkan volume gas metana (CH₄) paling tinggi. Lebih lanjut, penelitian ini juga memberikan rekomendasi praktis bagi peneliti selanjutnya: untuk meningkatkan produksi gas dari kotoran sapi, disarankan menggunakan bahan baku dalam jumlah besar, sedangkan untuk kotoran kuda, disarankan menambahkan limbah tanaman organik untuk menyeimbangkan rasio C/N dan memaksimalkan volume gas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhiyany, S. (2019). Proses absorpsi gas CO₂ dalam biogas menggunakan alat absorber tipe packing dengan analisa pengaruh laju alir absorben NaOH. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 9(02), 55–64. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v9i02.78>
- Arisandy, B. V., & Mufarida, N. A. (n.d.). *Pengaruh variasi persentase starter dengan temperatur destilasi 85 oC pada proses pembuatan bioetanol dari tepung sagu (Metroxylon sp) dan singkong (Manihot utilissima)*.
- Badmus, I., & Bakri, A. J. (2021). Energy, exergy and environmental compatibility analyses of LPG and household kerosene utilisations as domestic fuels in Nigeria: 1980 – 2019. *Journal of Energy Research and Reviews*, 7(3), 46. <https://doi.org/10.9734/jenrr/2021/v7i330194>
- Cherian, S., et al. (2021). Consumption and conservation practices adopted while using LPG for cooking in urban households of Ernakulam city. *International Journal of Home Science*, 7(2), 16. <https://doi.org/10.22271/23957476.2021.v7.i2a.1141>

- Fadliah, F., et al. (2021). Pelatihan pembuatan prototipe digester biogas dari limbah organik bagi masyarakat wilayah Kebon Jeruk, Jakarta Barat. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia (JAMIN)*, 3(2). <https://doi.org/10.25105/jamin.v3i2.10040>
- Farradinna, S., et al. (2023). Livestock waste management to improve community knowledge in the cow farming groups. *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, 8(1), 52. <https://doi.org/10.26905/abdimas.v1i1.8384>
- Iriani, P., et al. (2017). Fermentasi anaerobik biogas dua tahap dengan aklimatisasi dan pengkondisian pH fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.16>
- Karakteristik pH dan suhu dalam proses pembuatan biogas dari substrat.* (2020).
- Khan, M. U., et al. (2021). Biogas production potential from livestock manure in Pakistan. *Sustainability*, 13(12), 6751. <https://doi.org/10.3390/su13126751>
- Li, Y., et al. (2022). Bioaugmentation with a propionate-degrading methanogenic culture to improve methane production from chicken manure.¹ *Bioresource Technology*, 346, 126607. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126607>
- Manis, I., et al. (2018). Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai pupuk organik cair dan aplikasinya terhadap pertumbuhan tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans* Poir). *Jurnal Akademika Kimia*, 6(4), 219. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2017.v6.i4.9452>
- Nuraini, A., et al. (2024). Potensi limbah kulit pisang sebagai bahan baku biohidrogen dengan teknik konsorsium alami mikroorganisme. 3(1), 54–62.
- Pratama, D. W., & Abidin, A. (2020). Variation effect of horse dung, yeast and EM-4 on the quality of fuel biogas tofu liquid waste. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 4(2), 12-16.
- Putra, M. R. A., et al. (2020). Effect of composition variation starter of cow dung, chicken dung and mix banana peel on. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 4(2), 6–11.
- Sharma, A., et al. (2021). Impact assessment of Karanja deoiled cake and sundried biogas slurry as a mixed substrate on the nematicidal potential of *Purpureocillium lilacinum*. *Journal of King Saud University - Science*, 33(3), 101399. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101399>
- Sriharti, S., et al. (2018). Production of biogas from organic waste and its utilization as an alternative energy source. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(3), 763. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.3.7>
- Sukmawati, N. M. S., et al. (2018). Pengembangan pertanian organik terintegrasi di Desa Antapan Baturiti Tabanan Bali. *Buletin Udayana Mengabdi*, 17(2), 95. <https://doi.org/10.24843/bum.2018.v17.i02.p16>
- Teferra, D. M., & Wubu, W. (2019). *Biogas for clean energy*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79534>
- Wijayanti, et al. (2024). Pengaruh sterilisasi pada pembuatan biogas dari limbah cair tahu dan sampah organik. *Journal of Chemical Engineering*, 5(1), 34–42.
- Zheng, Y., et al. (2018). Enhancement of methane production by addition of *Clostridium thermocellum* in the anaerobic digestion of switchgrass. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(6). <https://doi.org/10.1063/1.5038077>