



Pengaruh Variasi Starter Kotoran Sapi, Kotoran Kambing, Limbah Cair Tahu dengan Penambahan *Effective Microrganism-4* (Em4) terhadap Produksi Gas Metana

Effect of Variations in Cow Dung Starter, Goat Dung, Tofu Liquid Waste With the Addition of Effective Microrganism-4 (Em4) on Methane Gas Production

Aditya Wardana^{1,a)}, Kosjoko¹, Nely Ana Mufarida¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

^{a)}Corresponding Author: adityawardana219@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan sumber daya energi di setiap tahunnya semakin meningkat, sedangkan energi di alam seperti energi fosil semakin lama semakin menipis dan berpotensi habis. Salah satu cara mengurangi penggunaan energi fosil adalah membuat energi terbarukan yaitu biogas. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap biogas yang dihasilkan yaitu; kandungan rasio C/N, nilai pH, suhu, volume gas, oksigen (O₂), hidrogen sulfida, karbon dioksida (CO₂), gas metana (CH₄) dengan campuran komposisi starter: D1 Kotoran sapi, limbah cair tahu dan Em4, D2 Kotoran kambing, limbah cair tahu dan Em4, D3 Kotoran sapi, kotoran kambing, limbah cair tahu dan Em4. Dalam penelitian ini variasi starter terbaik adalah kotoran kambing mengandung rasio C/N sebesar 52,977, nilai pH 7, gas metana tertinggi sebesar 885 ppm, memiliki suhu tertinggi sebesar 26.9 (°C), volume sebesar 0.0490625 m³, dan turunnya kandungan H₂S sebesar 1 ppm, CO₂ sebesar 10 ppm, O₂ sebesar 3.1.

Kata Kunci: biogas; gas metana; limbah kotoran hewan

Abstract

The need for energy resources is increasing every year, while energy in nature, such as fossil energy, is increasingly depleted and has the potential to run out. One way to reduce the use of fossil energy is to make renewable energy, namely biogas. This study tested the biogas produced, namely; content of C/N ratio, pH value, temperature, gas volume, oxygen (O₂), hydrogen sulfide, carbon dioxide (CO₂), methane gas (CH₄) with a starter composition mixture: D1 Cow manure, tofu liquid waste and Em4, D2 Manure goat, tofu liquid waste and Em4, D3 Cow manure, goat manure, tofu liquid waste and Em4. In this study, the best starter variation was goat manure containing a C/N ratio of 52.977, a pH value of 7, the highest methane gas was 885 ppm, had a highest temperature of 26.9 (°C), a volume of 0.0490625 m³, and a decrease in H₂S content of 1 ppm. CO₂ of 10 ppm, O₂ of 3.1.

Keywords: biogas; methane gas; animal waste

PENDAHULUAN

Kebutuhan sumber daya energi di setiap tahunnya semakin meningkat, sedangkan hasil energi dari alam itu sendiri sangat terbatas. Perubahan zaman yang terjadi saat ini berdampak besar bagi perubahan sumber daya energi, dari yang awalnya menggunakan biomassa seperti kayu bakar untuk kebutuhan energinya, berubah menjadi energi fosil seperti batu bara, gas bumi dan minyak [1]. Energi fosil penyumbang paling besar efek rumah kaca, perubahan iklim yang terjadi saat ini di sebabkan

meningkatnya kandungan (CO₂) yang tersebar di udara membuat banyak gelombang panas yang di pantulkan ke bumi dan di serap oleh atmosfer, hal ini membuat suhu meningkat di bumi. Konsentrasi (CO₂) dan gas-gas lainnya di atmosfer kenaikan konsentrasi gas CO₂ ini terjadi akibat kenaikan pembakaran bahan bakar minyak [2].

Kebutuhan energi saat ini masih bergantung pada energi fosil, maka akan habis jika di gunakan terus menerus. Salah satu cara mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yaitu dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang

sederhana yaitu biogas [3]. Biogas merupakan energi yang terbentuk dari fermentasi limbah organik seperti kotoran hewan dan sampah rumah tangga dan mengandung bakteri metagenik [4]. Biogas menjadi bahan bakar alternatif dan salah satu jawaban untuk mengatasi kekurangan bahan bakar skala rumah tangga maupun industri.

Sumber dari salah satu bahan baku biogas seperti kotoran hewan dan limbah cair tahu. Limbah cair tahu di hasilkan dari proses produksi tahu dari pencucian, penggilingan, pemasakan, hingga percetakan bahan. Limbah cair tahu mengandung 50% metana (CH_4) yang bisa di gunakan untuk biogas [5].

Tabel 1. Komposisi biogas secara umum [6]

Komponen	%
Metana (CH_4)	55-75
Karbon dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0,3
Hidrogen (H_2)	1-5
Hidrogen Sulfida (H_2S)	1-5
Oksigen (O_2)	0,1-0,5

Biogas merupakan campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobic [7], pada umumnya biogas terdiri atas gas metana (CH_4) 50 sampai 70 %, gas karbon dioksida (CO_2) 30% sampai 40%, hidrogen (H_2) 5 sampai 10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit. Komposisi Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dan beberapa kandungan senyawa lain yang jumlahnya kecil diantaranya hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), hidrogen (H_2), serta oksigen (O_2),seperti pada (Tabel 1.) [6]. Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu Bagaimana pengaruh starter kotoran sapi terhadap limbah cair tahu terhadap pembuatan biogas Bagaimana pengaruh starter kotoran kambing terhadap limbah cair tahu terhadap pembuatan biogas Bagaimana pengaruh starter campuran terhadap limbah cair tahu terhadap pembuatan biogas. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh starter kotoran sapi terhadap limbah cair tahu terhadap pembuatan biogas mengetahui pengaruh starter kotoran kambing terhadap limbah cair tahu terhadap pembuatan biogas mengetahui pengaruh starter

campuran terhadap limbah cair tahu terhadap pembuatan biogas.

METODE

Waktu Penelitian dan Lokasi Penelitian

Metode penelitian mengumpulkan data yang di gunakan adalah eksperimen laboratorium, yang mana pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan semua alat yang ada atau bisa juga di sebut mengadakan percobaan secara langsung di laboratorium. Penelitian ini di lakukan pada 16 Januari sampai dengan 12 Februari 2023 di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember Selama 32 Hari.

Pengambilan bahan penelitian ini dilakukan di kabupaten jember yaitu di peternakan sapi dan peternakan kambing di Politeknik Jember.

Rencana penelitian

Pembuatan campuran variasi starter untuk produksi biogas dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi perlakuan bahan

Perlakuan	Kotoran Sapi	Kotoran Kambing	Limbah cair tahu	EM4
D1	9 liter	0 liter	8 liter	1 liter
D2	0 liter	9 liter	8 liter	1 liter
D3	4,5 liter	4,5 liter	8 liter	1 liter

Alat dan bahan

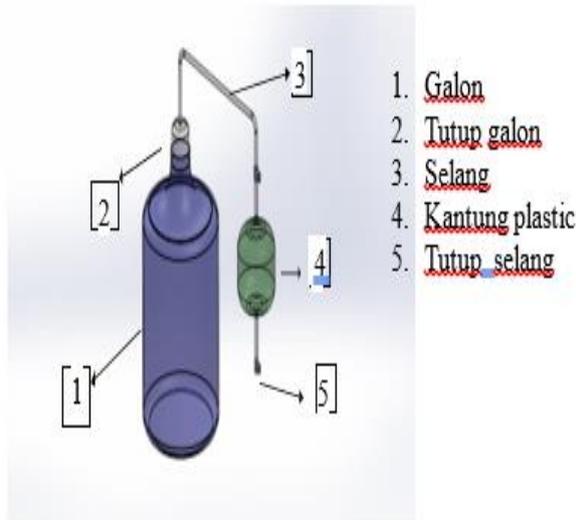
Alat dan bahan yang di gunakan dalam penelitian ini yaitu :

- Alat
 - Gas analyser tipe HT-1805.
 - Kertas pH indikator universal.
 - Sekop.
 - Timba.
 - Galon air.
 - Kantong plastik.
 - Timbangan elektronik.
 - Gelas ukur 2 L.
 - Termometer *infrared* tipe GM320.

Bahan

- Limbah cair tahu 12 liter
- Kotoran sapi 7,5 liter
- Kotoran kambing 7,5 liter
- EM4 3 liter

Disain Alat Fermentasi Biogas



Gambar 1. Digester tipe batch [8]

keterangan **Gambar 1.**

1. Digester (galon kapasitas 19 L) sebagai tempat fermentasi limbah
2. Karet ban dan tutup galon sebagai penutup galon atau tempat keluar gas.
3. Selang untuk mengalirkan gas menuju ke balon atau ke plastik.
4. Balon atau kantung plastik sebagai penyimpanan gas biogas.
5. Tempat keluarnya gas.

Prosedur penelitian biogas

1. Pertama mengambil bahan baku kotoran sapi dan kotoran kambing di peternakan
2. Selanjutnya mengambil limbah cair tahu di pabrik pembuatan tahu
3. Mencampur starter kotoran sapi, kotoran kambing, limbah cair tahu dan Em4 sesuai dengan campuran D1, D2,D3 Kemudian diaduk sampai homogen dengan alat pengaduk.
4. Melakukan pengecekan pH sampai pH mencapai angka 6-8 atau netral.
5. Kemudian mengecek rasio C/N dari campuran starter tersebut. Jika rasio C/N sudah sesuai, digester ditutup rapat dan dilakukan pengujian Terhadap suhu (C), volume biogas (m³), kandungan Oksigen (O₂), hidrogen sulfida (H₂S), karbon Dioksida (CO₂) dan kandungan Gas metana (CH₄).
6. Pengujian dilakukan 3 hari sekali selama 32 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan

Penelitian ini telah dilakukan pembuatan variasi komposisi starter kotoran sapi, kotoran kambing, limbah cair tahu dan campuran Em4. Meliputi rasio C/N hasil penelitian,nilai pH, suhu (°C), volume biogas (m³), Kandungan Oksigen (O₂), Hitrogen sulfide (H₂S), Karbon Dioksida (CO₂) dan kandungan Gas Metana (CH₄). Adapun penelitian ini meliputi sebagai berikut :

1. D1 : Kotoran sapi, limbah cair tahu dan Em₄
2. D2 : Kotoran kambing, limbah cair tahu dan Em₄
3. D3 : Kotoran sapi, kotoran kambing, limbah cair tahu dan Em₄

Nilai PH

Dalam pengujian pH dilakukan sebanyak tiga kali yaitu Pada kondisi awal tanpa sebelum di campur, kondisi saat di campur dan kondisi akhir setelah penelitian. Berikut Tabel nilai PH pada setiap starter:

Tabel 3. Nilai pH

NO	Nilai PH		
	Kondisi awal limbah tahu saat belum di campur kotoran dan Em4	Kondisi saat di campur kotoran dan Em4	Kondisi akhir setelah penelitian 32 hari
D1	4	6	5
D2	4	7	Pemadatan
D3	4	6	7

Berdasarkan **Tabel 3.** di atas, pH yang dimiliki oleh D1,D2 dan D3 pada kondisi awal secara berurutan dengan pH 4 saat limbah cair tahu belum di campur apa pun. Sedangkan pada saat sesudah di campur dengan kotoran dan Em4 pH dari setiap starter berubah, D1 yang awalnya pHnya 4 berubah setelah di campur kotoran sapi dan Em4 menjadi pH 6 sedangkan D2 yang awalnya pH 4 berubah setelah di campur kotoran kambing dan Em4 menjadi pH 7 sebaliknya D3 pHnya yang awal 4 berubah setelah di campur kotoran sapi, kotoran kambing dan Em4 menjadi 6. Sedangkan pada saat kondisi akhir setelah penelitian 32 semua sampel mengalami perubahan D1 yang tadinya pHnya 4 dan 6 berubah menjadi asam yaitu berubah menjadi 5 sedangkan untuk D2 yang tadinya pHnya 4 dan 6 mengalami pemadatan sehingga tidak dapat di uji untuk pHnya sedangkan

untuk D3 yang tadinya PHnya 4 dan 6 berubah menjadi 7.

Derajat keasaman (pH) harus dijaga pada kondisi optimum yaitu antara 6,8-7,2. Apabila pH substrat turun maka akan menyebabkan proses pengubah substrat menjadi biogas terhambat sehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas. Nilai pH yang terlalu tinggi juga harus dihindari, karena akan menyebabkan produk akhir yang dihasilkan adalah CO₂ sebagai produk utama [9].

Rasio C/N

C/N Rasio hasil penelitian, Pengukuran rasio C/N dilakukan pengujian di laboratorium Biosains Politeknik Negeri Jember dengan spesifikasi metode *Walkley And Black* (SNI 19-7030-2004) dan hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 4.** dibawah ini:

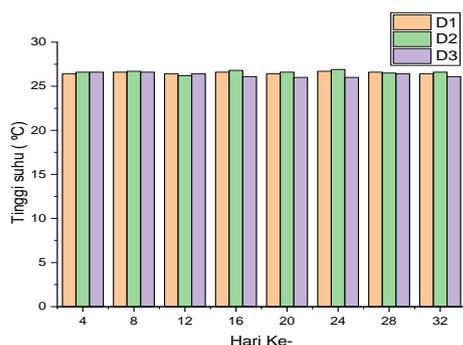
Tabel 4. Data C/N rasio tiap sampel

Sampel	Berat sampel (mg)	Hasil rata rata C/N
D1	53,254	54,453 %
	55,652	
D2	47,822	52,977 %
	58,132	
D3	65,691	63,018 %
	60,345	

Berdasarkan data di atas, rasio C/N dari sampel D1 yaitu 54,453% sampel D2 yaitu 52,977% dan sampel D3 yaitu 63,018%. Rasio C/N dari ketiga sampel tersebut cukup besar , sehingga waktu gas yang di dihasilkan lama untuk muncul. Rata-rata gas yang keluar di kisaran hari ke-8 baru dapat menghasilkan gas metana. Persen dalam rasio C/N yang dapat menjadi bahan biogas harus dalam 10% sampai 30% [10].

Suhu

Suhu yang diukur dalam penelitian ini adalah suhu di bagian luar reaktor biogas atau digester. Data suhu pada tiap perlakuan variasi starter kotoran sapi, kotoran kambing dan campuran sebagai berikut:



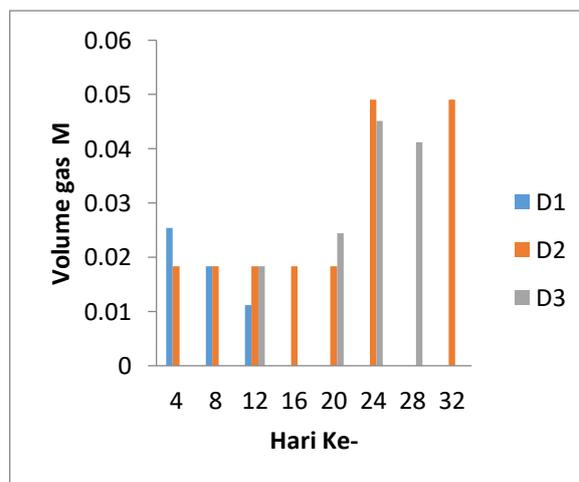
Gambar 2. Tinggi suhu

Berdasarkan **Gambar 2.** di atas hasil pengukuran suhu pada rentan waktu 32 hari, maka didapatkan di ambil rata- rata suhu tertinggi berada hari ke-24 pada starter D2 yaitu sebesar 26,9°C dan tingkat suhu terendah pada hari ke-20 dan 24 yaitu 26,0°C : 26,0°C pada starter D3 sedangkan pada rata- rata pada semua suhu di kisaran 26,6. Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa bakteri yang terdapat pada digester masih bisa hidup di suhu 26°C sampai 26,9°C perkuat oleh penelitian.

pada proses pembentukan biogas dalam digester selama 46 hari, perkembangan gas metana di pengaruhi temperatur pada digester, yang mana proses pembentukan metana bekerja pada rentang temperatur 25-40 Celsius [9].

Volume gas m³

Nilai volume yang diambil dalam penelitian ini dihitung setiap 4 hari sekali. Data volume pada tiap perlakuan variasi starter kotoran sapi, kotoran kambing dan campuran disajikan pada **Gambar 3.** sebagai berikut:

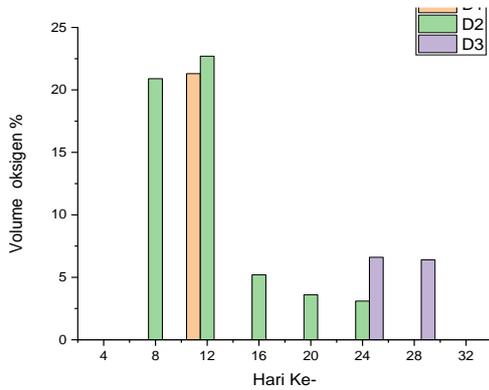


Gambar 3. Volume gas m³

Berdasarkan data di atas untuk mencari volume diperlukan menggunakan rumus tabung $\pi \times r^2 \times t$ setelah dilakukan perhitungan dapat dihasilkan volume yang tidak jauh beda, volume tertinggi terdapat di hari ke-32 sebesar 0.0490625 m³ yaitu pada starter D2 sedangkan volume terendah terdapat pada hari ke-12 sebesar 0.01119096 m³ yaitu terdapat pada starter D2 dan rata-rata volume yang sering muncul adalah 0.01831248 m³. Peningkatan Tinggi volume gas di pengaruhi oleh volume gas yang terbentuk, semakin tinggi metana terbentuk maka semakin besar volume yang di dihasilkan [11].

Kandungan Oksigen (O₂)

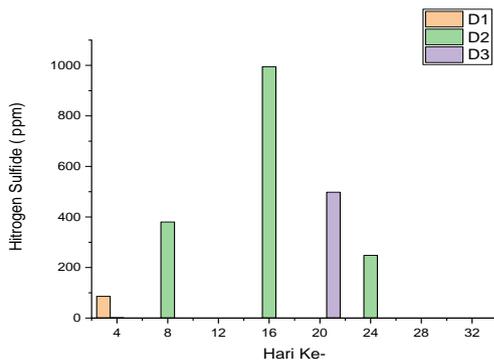
Data kandungan oksigen pada tiap perlakuan varisi starter kotoran sapi, kotoran kambing dan campuran di sajikan pada **Gambar 4**. sebagai berikut :



Gambar 4. Volume oksigen

Berdasarkan data diatas hasil pengukuran oksigen pada rentan waktu 32 hari, maka didapatkan oksigen tertinggi pada hari ke-12 sebesar 22.7 pada starter D2 kotoran kambing sedangkan pengukuran oksigen terendah terdapat pada hari ke-24 sebesar 3.1 pada starter D2 kotoran kambing sedangkan untuk . Sedangkan rata-rata pengukuran oksigen di setiap starter didapat nilai 0. Data di atas membuktikan bahwa terjadi penurunan oksigen terus menerus, dari penelitian di atas di dapat di tarik kesimpulan bahwa oksigen di setiap starter mengalami penurunan di perkuat oleh penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa Salah satu gas yang merupakan kendala dalam proses biogas adalah oksigen [12]. Oksigen tidak diperlukan pada proses biogas karena proses ini menggunakan fermentasi anaerob yang tidak memerlukan oksigen. Semakin besar kadar oksigen pada digester anaerob, akan menghambat produksi gas metana oleh bakteri.

Hitrogen Sulfide (H₂S)

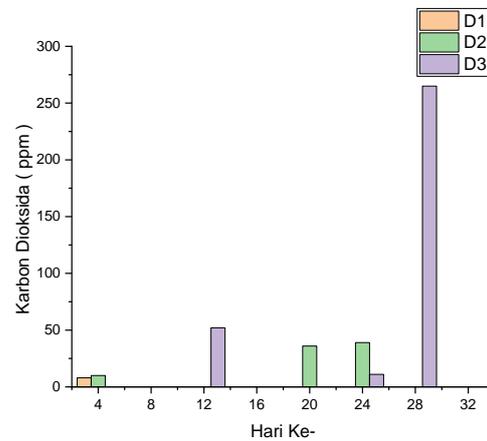


Gambar 5. Hidrogen sulfida

Berdasarkan data di atas hasil pengukuran H₂S pada rentan waktu 32 hari, maka didapat produksi H₂S yang tertinggi pada hari Ke-16 sebesar 995 ppm yaitu pada starter D2 kotoran kambing sedangkan produksi H₂S terendah terdapat di hari ke-4 yaitu sebesar 1 ppm sedangkan rata-rata produksi H₂S yang dihasilkan dari setiap starter sebesar 0 ppm. Kandungan H₂S harus rendah jika terlalu tinggi maka akan merusak alat yang mengandung besi di digester. Kandungan H₂S dalam biogas yang relatif tinggi dapat menyebabkan korosi pada peralatan proses dan berdampak negatif ke lingkungan [13].

Karbon Dioksida (CO₂)

Data kandungan gas CO₂ pada setiap starter di sajikan pada **Gambar 6**. berikut :



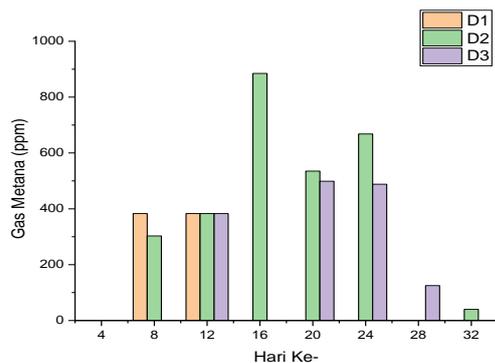
Gambar 6. Karbon dioksida

Berdasarkan data di atas hasil pengukuran CO₂ pada rentan waktu 32 hari, maka didapat produksi CO₂ yang tertinggi pada hari Ke-28 sebesar 265 ppm yaitu pada starter campuran sedangkan produksi CO₂ terendah terdapat di hari ke-4 yaitu sebesar 8 ppm sedangkan rata-rata produksi CO₂ yang dihasilkan dari setiap starter sebesar 0 ppm . Pada produksi CO₂ harus minim disebabkan jika terdapat banyak kandungan CO₂ maka akan mengganggu proses pembakaran.

Komposisi biogas yang dihasilkan dari fermentasi tersebut terbesar adalah gas metana (CH₄) sekitar 54-70% serta gas karbon dioksida (CO₂) sekitar 27-45%. Oleh karena itu usaha mengurangi CO₂ pada biogas diduga akan meningkatkan kualitas pembakaran dan kalori biogas. Keberadaan CO₂ yang cukup besar tadi sangat mengganggu dalam proses pembakaran , karena CO₂ sangat sulit untuk ikut terbakar bersama metana (CH₄), oleh karena itu keberadaan CO₂ perlu dikurangi [14].

Gas Metana

Pada penelitian ini, untuk mengetahui kandungan CH₄ menggunakan nilai LEL karena dapat mendeteksi semua gas yang mudah terbakar. LEL (*Lower Explosive Limit*) merupakan ambang ledakan bawah yang dimiliki oleh sebuah gas khususnya yang mudah terbakar. Nilai dari LEL dari penelitian ini memiliki kandungan gas CH₄ paling banyak dibanding gas-gas mudah terbakar lainnya. [8] berikut adalah tabel dari starter kotoran sapi, kotoran kambing, dan campuran :



Gambar 7. Gas metana

Berdasarkan Gambar 7. di atas hasil pengukuran gas metana pada rentan waktu 32 hari, maka didapat produksi gas metana yang tertinggi pada hari Ke-16 sebesar 885 ppm yaitu pada starter kotoran kambing sedangkan produksi gas metana terendah terdapat di hari ke-32 yaitu sebesar 40 ppm sedangkan rata-rata produksi gas metana yang dihasilkan dari setiap starter sebesar 0 ppm.

Dari penelitian di atas starter yang memproduksi gas metana yang minim terdapat pada D1 kotoran sapi yaitu produksinya hanya di hari ke-8 sebesar 383 ppm dan hari ke-12 sebesar 383 ppm sedangkan produksi gas metana terbanyak terdapat di D2 kotoran kambing dari hari ke-8 sebesar 303 ppm, hari ke-12 sebesar 383 ppm, hari ke-16 sebesar 885 ppm, hari ke-20 sebesar 535 ppm, hari ke-24 sebesar 535 dan yang terakhir terdapat pada hari ke-32 sebesar 40 ppm sedangkan untuk varian starter D3 campuran hanya terdapat 4 kali memproduksi gas metana di hari ke-12 sebesar 383 ppm, di hari ke-20 sebesar 449 ppm, di hari ke-24 sebesar 488 ppm dan terakhir di hari ke-28 sebesar 128 ppm.

Biogas umumnya dapat dihasilkan oleh proses pembusukan yang terdiri dari : metana sebesar 60 – 70 %, oksigen 1-4%, karbon dioksida sebesar 20-30 karbon monoksida 1% dan hidrogen sulfida 1 %. Biogas dapat terbakar jika gas metana lebih dari 50 %, jika gas di bakar akan berwarna biru dan menghasilkan panas [15].

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah di laksanakan, dapat di simpulkan bahwa:

1. Pengaruh variasi komposisi campuran starter pada 9 liter kotoran sapi, 8 liter limbah cair tahu dan 1 liter Em4 pH yang di dihasilkan dari percampuran tersebut adalah 6, mengandung Rasio C/N sebesar 54,453, kandungan gas metana mulai muncul di hari ke-8 sebesar 383 dan berakhir di hari ke-12 sebesar 383, suhu rata-rata 26,6 (°C), volume gas yang terbesar di hari ke-8 sebesar 0.01831248 m³, kandungan O₂ hanya muncul di hari ke-12 sebesar 21.3 dan seterusnya tidak muncul, sedangkan untuk kandungan CO₂ dan H₂S hanya muncul di hari ke-4 dan di hari-hari selanjutnya tidak muncul untuk CO₂ sebesar 8 ppm dan untuk H₂S sebesar 86 ppm dan untuk seterusnya tidak muncul, CO₂ hanya muncul di hari ke-12 sebesar 21,3 ppm .
2. Pengaruh variasi komposisi campuran starter pada 9 liter kotoran kambing, 8 liter limbah cair tahu dan 1 liter Em4 pH yang dihasilkan adalah 7, mengandung rasio C/N sebesar 52,977 pada kandungan gas metana gas yang di dihasilkan kandungan yang sangat baik, mulai muncul di hari ke-8 dan berakhir di hari ke-32 puncak tertinggi gas yang muncul di hari ke-16 sebesar 885 sedangkan titik terendah gas muncul di akhir penelitian sebesar 40, untuk suhu rata-rata di kisaran 26,6(°C), volume gas yang di dihasilkan sangat baik dari hari ke-4 sampai 32 terus muncul hanya di hari ke 28 yang tidak muncul rata-volume gas yang di dihasilkan sebesar 0.01831248 m³ sedangkan untuk CO₂ muncul di hari ke-4 sebesar 10 ppm dan puncak tertinggi yang di hasil kan pada hari ke-24 sebesar 39, untuk H₂S puncak tertinggi di hari ke-12 sebesar 995 ppm dan tingkat terendah pada hari ke-24 sebesar 248 ppm. Untuk O₂ tingkat tertinggi di hari ke-12 sebesar 22,9 dan terus terjadi penurunan sampai di hari ke-24 sebesar 3.1.
3. Pengaruh variasi komposisi campuran starter pada 4,5 liter kotoran sapi, 4,5 liter kotoran kambing, 8 liter limbah cair tahu dan 1 liter Em4 yang mengandung rasio C/N sebesar 63,018 pada kandungan gas metana awal gas muncul pada hari

ke-12 sebesar 383 puncak tertinggi dari gas metana berada di hari ke-20 sebesar 499 dan tingkat rendah dari gas pada hari ke-28 sebesar 12, suhu rata-rata di kisaran 26 sampai 26,6(°C), untuk volume yang dihasilkan sebesar 0.0451375 m³, sedangkan untuk O₂ muncul di hari ke-24 dan 28 masing-masing sebesar 6.6 ppm dan 6.4 ppm, sedangkan untuk H₂S hanya muncul di hari ke-20 sebesar 498 ppm sedangkan untuk CO₂ hari ke-12 sebesar 52 ppm dan mengalami peningkatan pada hari ke-28 sebesar 265.

Saran

1. Dilakukan penelitian lanjutan untuk menghitung volume gas dengan digester yang lebih besar dikarenakan alat yang digunakan hanya berkapasitas 19 liter .
2. Melakukan pengujian ulang melebihi 1 bulan dikarenakan gas yang muncul terus ada yang melebihi 30 hari .
3. Membuat campuran starter hanya setengah dari kapasitas digester.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. E. Setyono and B. F. T. Kiono, "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 154–162, 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- [2] R. Pratama, "Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi," *Cetak) Bul. Utama Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 1410–4520, 2019.
- [3] D. Wahyu Pratama *et al.*, "Variation Effect of Horse Dung, Yeast And EM-4 on The Quality of Fuel Biogas Tofu Liquid Waste," *J. Kaji. Ilm. dan Teknol. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 2541–3562, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/J-Proteksion>
- [4] A. Amrullah, S. Borahima, and M. Lubis, "Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 12, no. 01, pp. 1731–1734, 2017, doi: 10.47398/iltek.v12i01.402.
- [5] Y. Kurniati, A. Rahmat, B. I. Malianto, D. Nandayani, and W. S. W. Pratiwi, "Review Analisa Kondisi Optimum Dalam Proses Pembuatan Biogas," *Rekayasa*, vol. 14, no. 2, pp. 272–281, 2021, doi: 10.21107/rekayasa.v14i2.11305.
- [6] A. Pertiwiningrum, *INSTALASI BIOGAS*, 1st ed. Yogyakarta: CV. Kolom Cetak, 2015.
- [7] P. V. H. Sinaga, D. Suanggana, and H. D. Haryono, "Analisis Produksi Biogas Sebagai Energi Alternatif Pada Kompor Biogas Menggunakan Campuran Kotoran Sapi Dan Ampas Tahu," *J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 61–69, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polindra.ac.id/index.php/jtt/article/view/348>
- [8] M. R. A. Putra, N. A. Mufarida, and Nurhalim, "J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin Effect of Composition Variation Starter of Cow Dung , Chicken Dung and Mix Banana Peel On," vol. 4, no. 2, pp. 6–11, 2020.
- [9] L. R. Makan, L. Cair, and K. Sapi, "Karakteristik pH dan Suhu dalam Proses Pembuatan Biogas dari Substrat," no. May, 2020.
- [10] S. Nafis and O. Hendriyanto, "Dan Limbah Ikan Dalam Biodigester Anaerob," *EnviroUS*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [11] P. Iriani, Y. Suprianti, and F. Yulistiani, "Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.33795/jtkl.v1i1.16.
- [12] P. R. Meliala, A. Qurthobi, F. Teknik, and U. Telkom, "ANALISIS KINERJA DIGESTER BIOGAS BERDASARKAN PARAMETER OKSIGEN BIOGAS DIGESTER PERFORMANCE ANALYSIS BASED ON OXYGEN," 2015.
- [13] W. A. Wibowo, P. Paryanto, R. A. Lutfiani, and R. M. Putra, "Pemurnian Biogas Dari Gas H₂S Menggunakan Karbon Aktif Dari Buah Mangrove," *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 1, pp. 2–5, 2020, doi: 10.31942/inteka.v5i1.3393.
- [14] A. P. Masyhuri, A. M. Ahmad, and G. Djojowasito, "Rancang Bangun Sistem Penyerap Karbon dioksida (CO₂) Pada Aliran Biogas Dengan Menggunakan Larutan Ca(OH)₂," *Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–28, 2013.
- [15] G. A. S. M. Ch, U. Hasanudin, J. K. Fmipa, and U. Hasanudin, "REAKTOR BIOGAS SAMPAH ORGANIK UNTUK MENGHASILKAN," vol. 16, no. 2, pp. 99–104, 2010.