

PERBANDINGAN EFEKTIVITAS STARTER EM4 DALAM PROSES PEMBUATAN BIOGAS DARI BATANG POHON PISANG DAN KOTORAN HEWAN TERNAK

Arik Gunawan¹, Asroful Abidin², Kosjoko³

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember^{1,2,3}

e-mail: asrofulabidin@unmuahjember.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan energi Indonesia terus meningkat setiap tahunnya sementara hasil energi alam semakin menipis, contoh hasil energi dari fosil, seperti batu bara, gas bumi, dan minyak. Transportasi, bisnis, dan pembangkit listrik adalah sektor yang paling banyak menggunakan energi sehingga dapat menyebabkan kelangkaan sumber energi salah satunya gas bumi yang digunakan sebagai bahan bakar memasak yaitu LPG bagi masyarakat, untuk itu dicari solusi dengan menggunakan sumber energi yang dapat diperbarui yaitu biogas. Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang mengurai bahan organik pada kondisi anaerob yang langka atau melalui proses fermentasi limbah organik menggunakan biodigester. Pada penelitian ini bahan yang digunakan yaitu batang pohon pisang, kotoran sapi, kambing dan EM4 yang divariasikan 0%, 10%, 15% dan 20% dengan menguji peran EM4 terhadap produksi biogas yang meliputi pH, volume gas, komposisi gas dan kualitas nyala api. Hasil penelitian ini yaitu pada pH variasi EM4 15% tergolong ideal yaitu 6.5 – 7.0, untuk volume gas tertinggi yaitu 6801.60 cm³, memiliki komposisi gas Oksigen (O₂) 6,0%, Hydrogen Sulfida (H₂S) 379 ppm, Karbon Dioksida (CO₂) 1 ppm, Methane (CH₄) 665 ppm dan kualitas nyala api bewarna biru.

Kata Kunci: Variasi EM4, Volume gas, Kualitas nyala api

ABSTRACT

Indonesia's energy needs continue to increase every year while natural energy products are running low, for example energy products from fossils, such as coal, natural gas and oil. Transportation, business and electricity generation are the sectors that use the most energy so it can cause a scarcity of energy sources, one of which is natural gas which is used as cooking fuel, namely LPG for the community, for this reason a solution is being sought by using renewable energy sources, namely biogas. Biogas is a gas produced by microorganisms that decompose organic matter under rare anaerobic conditions or through the fermentation process of organic waste using a biodigester. In this research, the materials used were banana tree trunks, cow, goat dung and EM4 which were varied by 0%, 10%, 15% and 20% by testing the role of EM4 on biogas production which included pH, gas volume, gas composition and flame quality. The results of this research are that the pH variation of EM4 15% is considered ideal, namely 6.5 – 7.0, for the highest gas volume, namely 6801.60 cm³, has a gas composition of Oxygen (O₂) 6.0%, Hydrogen Sulfide (H₂S) 379 ppm, Carbon Dioxide (CO₂) 1 ppm, Methane (CH₄) 665 ppm and the flame quality is blue.

Keywords: EM4 variation, Gas volume, Flame quality

PENDAHULUAN

Indonesia saat ini tengah menghadapi sebuah dilema energi yang krusial. Di satu sisi, kebutuhan energi nasional terus mengalami peningkatan signifikan setiap tahunnya, seiring dengan laju pertumbuhan populasi dan ekspansi ekonomi. Di sisi lain, ketersediaan sumber energi primer yang selama ini menjadi andalan utama, yakni energi fosil seperti batu bara,

minyak bumi, dan gas alam, jumlahnya semakin menipis dan bersifat tidak terbarukan. Sebagaimana diungkapkan oleh Arisandy dan Mufarida, ketergantungan yang sangat tinggi pada sumber daya yang terbatas ini menempatkan Indonesia pada posisi yang rentan terhadap krisis energi di masa mendatang, sehingga menuntut adanya diversifikasi sumber energi secara masif dan terencana.

Eskalasi kebutuhan energi ini terutama didorong oleh sektor-sektor vital seperti transportasi, industri, bisnis, dan pembangkit listrik. Di antara berbagai jenis energi fosil, gas bumi memegang peranan penting karena menjadi bahan baku utama untuk produksi *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), yang merupakan bahan bakar esensial bagi jutaan rumah tangga dan usaha kecil di Indonesia. Menurut Husain et al. (2021), meningkatnya jumlah penduduk secara langsung berimplikasi pada lonjakan konsumsi LPG. Kondisi ini menciptakan tekanan besar terhadap pasokan gas bumi nasional, di mana potensi terjadinya kelangkaan energi dapat memberikan dampak negatif yang luas bagi stabilitas sosial dan ekonomi masyarakat secara keseluruhan.

Ancaman kelangkaan LPG bukanlah sekadar prediksi, melainkan sebuah tren yang telah terkonfirmasi oleh data. Menurut laporan PT. Pertamina Indonesia yang dikutip oleh Wibowo dan Windarta (2022), kebutuhan LPG nasional terus menunjukkan grafik kenaikan yang tajam dari tahun ke tahun. Sebagai contoh, pada tahun 2019 saja, kenaikan kebutuhan LPG telah mencapai angka 7.459.000 ton. Angka ini memberikan sinyal kuat bahwa tanpa adanya terobosan yang berarti, kelangkaan LPG bagi masyarakat pada tahun-tahun berikutnya menjadi sebuah keniscayaan. Oleh karena itu, pencarian dan pengembangan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui sebagai pengganti gas bumi bukan lagi sekadar pilihan, melainkan sebuah keharusan yang mendesak.

Di tengah urgensi tersebut, biogas muncul sebagai salah satu sumber energi alternatif yang paling potensial dan menjanjikan untuk menggantikan bahan bakar gas konvensional. Keunggulan utama biogas terletak pada sifatnya yang terbarukan dan ramah lingkungan, karena diproduksi dari bahan-bahan organik yang ketersediaannya sangat melimpah di sekitar masyarakat. Sebagaimana dijelaskan oleh Pramudiyanto dan Suedy (2020), biogas dapat dihasilkan dari berbagai macam limbah, mulai dari limbah pertanian seperti batang pohon pisang hingga limbah peternakan seperti kotoran sapi dan kambing. Pemanfaatan limbah organik ini tidak hanya menyediakan energi, tetapi juga menawarkan solusi pengelolaan sampah yang efektif dan berkelanjutan.

Meskipun memiliki potensi yang besar, produksi biogas secara konvensional menghadapi satu tantangan teknis yang signifikan, yaitu durasi proses fermentasi yang relatif lama. Pada umumnya, diperlukan waktu fermentasi anaerobik selama kurang lebih 30 hari untuk dapat menghasilkan gas metana dengan volume dan kualitas yang optimal. Waktu tunggu yang cukup panjang ini seringkali menjadi kendala bagi masyarakat yang membutuhkan pasokan energi secara lebih cepat dan konsisten. Lambatnya laju produksi ini menjadi salah satu faktor yang menghambat adopsi teknologi biogas secara lebih luas, sehingga diperlukan sebuah inovasi untuk mengakselerasi proses fermentasi tersebut.

Untuk menjawab tantangan efisiensi waktu tersebut, penelitian ini mengaplikasikan sebuah inovasi dengan memanfaatkan cairan *Effective Microorganism 4* (EM4). Menurut Meriatna et al. (2019), EM4 berfungsi sebagai bahan starter atau aktivator biologis yang mengandung konsorsium beragam mikroorganisme menguntungkan. Penambahan cairan EM4 ke dalam bahan baku biogas bertujuan untuk mempercepat proses dekomposisi materi organik oleh bakteri metanogenik. Dengan demikian, produksi biogas diharapkan dapat berlangsung dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan proses fermentasi biasa, menjadikan teknologi ini lebih praktis, efisien, dan menarik untuk diimplementasikan oleh masyarakat luas.

sebagai solusi energi mandiri.

Berangkat dari latar belakang tersebut, penelitian ini dirumuskan untuk mengkaji secara kuantitatif pengaruh penambahan EM4 terhadap optimasi produksi biogas. Secara spesifik, penelitian ini akan mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi EM4 sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20% terhadap total volume biogas yang dihasilkan. Selain itu, akan dianalisis pula seberapa besar kontribusi penambahan EM4 terhadap stabilisasi nilai pH selama proses fermentasi, yang merupakan faktor kunci keberhasilan produksi gas metana. Tujuan utamanya adalah untuk menemukan solusi energi terbarukan yang lebih efisien, sekaligus memberikan data ilmiah yang valid mengenai pengaruh konsentrasi EM4 dalam meningkatkan produktivitas dan stabilitas sistem biogas.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian mengumpulkan data yang digunakan adalah eksperimen laboratorium, yang mana pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan semua alat yang ada atau bisa juga disebut mengadakan percobaan secara langsung di Laboratorium.

Alat: 1. Gas analyser tipe HT-1805

- 2. Kertas pH indikator universal
- 3. Sekop
- 4. Timba
- 5. Galon air

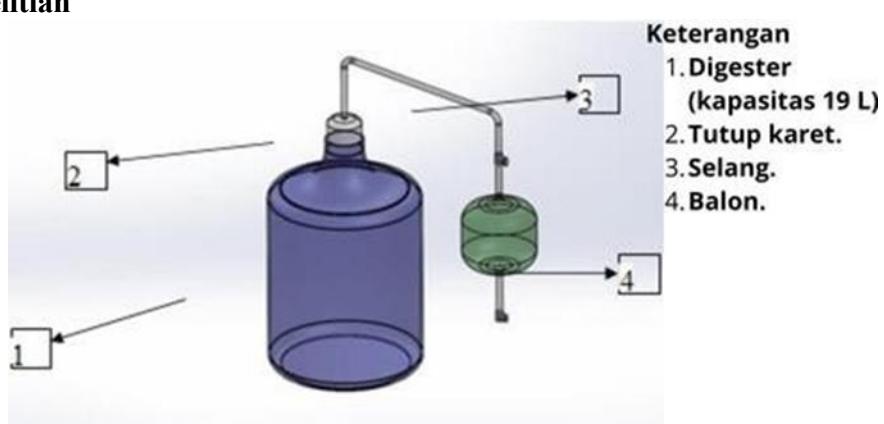
6. Kantong Plastik

- 7. Timbangan Elektronik
- 8. Gelas ukur 2L
- 9. Termometer tipe GM320

Bahan: 1. Batang Pohon Pisang (30%), Kotoran Sapi (30%), Kotoran Kambing (30%) dan Air (10%)

2. Batang Pohon Pisang (25%), Kotoran Sapi (25%), Kotoran Kambing (25%), Air (15%) dan EM4 (10%)
3. Batang Pohon Pisang (25%), Kotoran Sapi (25%), Kotoran Kambing (25%), Air (10%) dan EM4 (15%)
4. Batang Pohon Pisang (25%), Kotoran Sapi (25%), Kotoran Kambing (25%), Air (5%) dan EM4 (20%)

Desain Penelitian



Gambar 1. Alat desain penelitian

Berikut penejelasan alat diatas:

1. Tabung Fermentasi berperan sebagai inti dari sistem produksi biogas dan memungkinkan pengolahan limbah organik secara efektif dan menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan.
2. Karet Ban Pastikan karet ban memiliki sambungan yang rapat dan tahan bocor

untuk menghindari kebocoran gas. Biasanya, sambungan antara karet ban dalam digester dipastikan kedap dengan menggunakan pengencang seperti klem atau sealant.

3. Selang memiliki peran penting sebagai komponen penghubung untuk mendistribusikan gas yang dihasilkan. Kantong Plastik, dalam sistem pembuatan biogas, balon atau kantong plastik berfungsi sebagai komponen penampungan sementara atau utama untuk gas yang dihasilkan.

Rancangan penelitian

Pembuatan substrat untuk produksi biogas dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Perlakuan bahan

Perlakuan	Batang Pisang	Kotoran Sapi	Kotoran Kambing	Cairan EM4	Air	Total
D1 (0%)	5,1 liter	5,1 liter	5,1 liter	-	1,70 liter	17 liter
D2 (10%)	4,25 liter	4,25 liter	4,25 liter	1,70 liter	2,55 liter	17 liter
D3 (15%)	4,25 liter	4,25 liter	4,25 liter	2,55 liter	1,70 liter	17 liter
D4 (20%)	4,25 liter	4,25 liter	4,25 liter	3,40 liter	0,850 ml	17 liter

Rancangan komposisi di atas menggambarkan proses pencampuran cairan EM4 dalam pembuatan biogas dengan perlakuan 10%, 15% dan 20%.

Tahapan proses penelitian

Tahapan proses penelitian batang pohon pisang, kotoran sapi dan kambing dengan menambahkan EM4.

1. Pertama mengambil bahan baku limbah batang pisang
2. Selanjutnya mengambil kotoran sapi dan kambing di peternakan.
3. Menghaluskan kulit dengan alat penghalus
4. Kemudian lakukan pengolahan bahan seperti masing-masing perlakuan D1, D2, D3 dan D4 di ukur menggunakan gelas ukur 2 L dan diaduk dengan alat pengaduk.
5. Melakukan pengecekan pH sambil menambahkan NaOH sampai pH mencapai angka 6-8 atau netral.
6. Kemudian pengecekan rasio C/N pada bahan.
7. jika ratio C/N sudah sesuai, digester ditutup rapat dan dilakukan pengujian terhadap pH, kandungan CH4 (%), volume gas (L) dan suhu (oC).
8. Pengujian dilakukan 4 hari sekali atau selama 32 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pada penelitian pembuatan biogas dari kotoran hewan sapi, kambing, batang pisang dan starter EM4 yang divariasikan telah dilakukan penelitian yang menghasilkan beberapa tahap yaitu seperti nilai pH awal dan akhir, Suhu, volume gas, komposisi gas dan kualitas nyala api dan komposisi akhir limbah. Berikut perlakuan bahan yang akan di aplikasikan menjadi D1,D2,D3 dan D4.

Nilai pH

Pada penelitian ini nilai pH awal diambil sebelum proses pencampuran bahan, sesudah dicampur dan pH akhir, berikut nilai pH yang diaplikasikan pada tabel.

Tabel 2. pH awal

Batang Pisang	Kotoran Sapi	Kotoran kambing
5.0-6.0	6.8-8.0	7.0-8.5

Berdasarkan tabel di atas, pH kotoran pisang netral hingga sedikit basa menunjukkan mikroba anaerob alami, sedangkan kotoran kambing lebih basah menunjukkan kotoran yang lebih kering dan padat, yang menunjukkan pH awal yang ideal, yaitu kotoran sapi.

Tabel 3. pH campuran

Perlakuan Bahan	Nilai pH
D1 (0%)	5.5 – 6.2
D2 (10%)	6.0 – 6.5
D3 (15%)	6.5 – 7.0
D4 (20%)	5.0 – 6.0

Berdasarkan tabel di atas, nilai pH bahan D1 atau yang tidak menggunakan EM4 menunjukkan berada dalam kisaran menuju netral, yang merupakan kondisi yang tidak ideal untuk proses awal fermentasi biogas karena keseimbangan antara bahan asam dan basa. Nilai pH bahan D2 dengan EM4 (10%) menunjukkan asam-basah, tetapi pH ini cukup ideal selama proses fermentasi. Nilai pH bahan D3 dengan EM4 (15%) menunjukkan asam yang cukup tinggi, tetapi fermentasi berjalan.

Tabel 4. pH akhir

Perlakuan Bahan	Nilai pH
D1 (0%)	7.0-7.5
D2 (10%)	7.0-74
D3 (15%)	6.8-73
D4 (20%)	6.5-7.2

Tabel di atas menunjukkan bahwa bahan D1 tanpa EM4 diperlakukan dengan netral. Ini berarti bahwa bahan tersebut dapat digunakan sebagai pupuk organik cair atau padat dan aman digunakan langsung di tanah tanpa bahan tambahan. D2 dengan EM4 (10%) dan D3 dengan EM4 (15%) menunjukkan bahwa bio-slurry yang dihasilkan bersifat netral hingga sedikit basa, aman dan efektif untuk digunakan sebagai pupuk organik alami, dan mendukung pertumbuhan tanaman secara alami. Kemudian, dengan menggunakan EM4 (20%) untuk D4, Anda mendapatkan pH ideal yang dapat digunakan sebagai pupuk. Ini berbeda dengan pH awal yang belum ideal setelah dicampur dan harus dikontrol agar pH awal juga ideal (Effendi, et al 2022).

Suhu

Pada penelitian ini pungkuk suhu menggunakan thermometer yang mengkuru suhu diluar digester atau galon, berikut tabel hasil pengukuran suhu dari masing-masing perlakuan bahan.

Tabel 5. Suhu

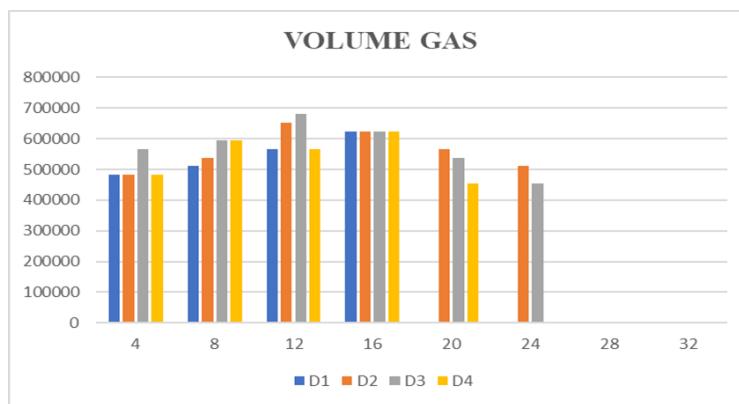
Tgl pengujian Dari April / Mei	Hari ke -	Suhu		(°C)	
		D1	D2 (10%)	D3 (15%)	D4 (20%)
28	4	30°C	30°C	31°C	31°C
2	8	32°C	33°C	34°C	35°C
6	12	31°C	32°C	33°C	33°C
10	16	34°C	35°C	36°C	37°C
14	20	30°C	31°C	32°C	32°C
18	24	33°C	34°C	35°C	36°C
22	28	29°C	30°C	31°C	31°C
26	32	31°C	33°C	34°C	35°C

Menurut tabel di atas, pada hari ke-4 dan 8 perlakuan bahan D1, D2, D3, dan D4 suhu naik perlahan sebagai akibat dari pelepasan panas biologis. Pada hari ke-12 dan 16 terjadi

puncak proses fermentasi dan produksi gas methana, tetapi perlakuan bahan D2 dan D4 cenderung memiliki suhu yang lebih tinggi karena lebih banyak mikroba yang aktif. Pada hari ke-20 dan 24 produksi gas melambat dan suhu sedikit menurun, tetapi tetap stabil. Pada hari ke-28 dan 32 proses fermentasi hampir selesai, sehingga aktivitas mikroba berkurang, dan suhu turun ke suhu lingkungan (Roja et al, 2024).

Volume Gas

Nilai volume yang diambil dalam penelitian ini dilakukan perhitungan setiap 4 hari sekali. Berikut data volume pada tiap perlakuan bahan D1,D2,D3 dan D4 disajikan dalam grafik diawah ini.

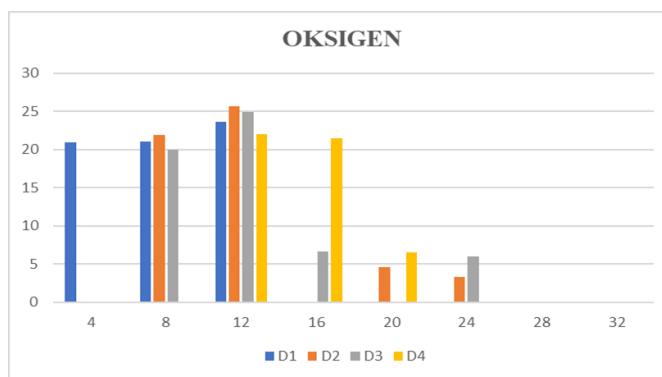


Gambar 2. Volume gas

Menurut grafik di atas, pada hari ke-16, bahan D1 memiliki volume gas tertinggi sebesar 6234.80 cm³, pada hari ke-12, bahan D2 memiliki volume gas sebesar 6522.90 cm³, dan pada hari ke-12, bahan D3 memiliki volume gas sebesar 6801.60 cm³, dan pada hari ke-16, bahan D4 memiliki volume gas sebesar 6234.80 cm³. Menurut teori, semakin besar volume gas, semakin banyak kandungan gas yang dihasilkan.

Oksigen (O₂)

Data kangungan oksigen pada tiap perlakuan bahan D1, D2, D3 dan D4 di sajikan pada grafik sebagai berikut.



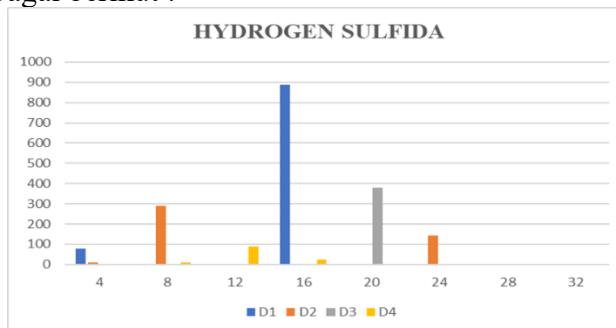
Gambar 3. Oksigen

Berdasarkan grafik di atas, kandungan oksigen D1 naik 20,9 % pada awalnya, kemudian naik 21,1 %, kemudian naik 20,2 %, kemudian turun 20,2 %, kemudian turun lagi menjadi 4,6 %, dan akhirnya turun 3,3 %. Kandungan oksigen D3 juga naik 20,0 %, naik 24,9 %, kemudian turun menjadi 6,6 %, dan akhirnya turun 6,0 persen. Sementara D4 turun 22,0 % pada awalnya, turun 22,0 %. Peneliti sebelumnya berpendapat bahwa meskipun produksi biogas tidak membutuhkan banyak oksigen, ada beberapa alasan mengapa kandungan oksigen meningkat. Salah satunya adalah bahwa kondisi anaerobik yang dibutuhkan oleh mikroorganisme yang

menghasilkan metana terganggu atau sifat bahan baku yang belum sepenuhnya terfermentasi (Yonathan et al, 2013).

Hydrogen Sulfida (H_2S)

Data kandungan hydrogen sulfida pada tiap perlakuan bahan D1, D2, D3 dan D4 di sajikan pada grafik sebagai berikut :

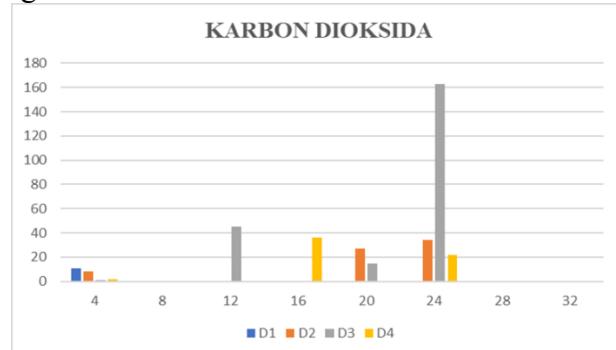


Gambar 4. Hydrogen Sulfida

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, kandungan hydrogen sulfida tertinggi berada pada perlakuan bahan D1 yaitu sebesar 890 ppm sedangkan terendah pada perlakuan bahan D2 yaitu 10 ppm. Pada pembuatan biogas kandungan hydrogen sulfida yang tinggi menyebabkan korosi pada digester yang mengandung besi (Damayanti et al. 2021).

Karbondiosida (CO_2)

Data kandungan karbon dioksida pada tiap perlakuan bahan D1, D2, D3 dan D4 di sajikan pada grafik sebagai berikut :

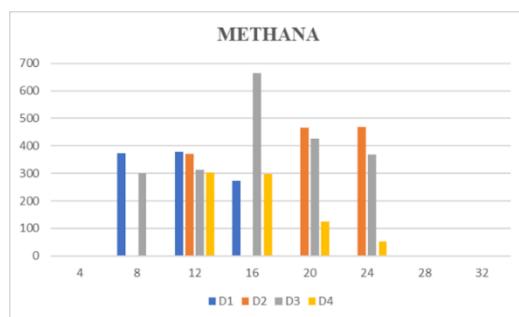


Gambar 5. Karbondioksida

Berdasarkan tabel dan grafik di atas kandungan karbon dioksida tertinggi serta terendah diperoleh pada perlakuan bahan D3 yaitu sebesar 163 ppm pada hari ke-sedangkan terendah 2 ppm. Peneliti terdahulu mengatakan bahwa tingginya kandungan karbon dioksida dalam produksi biogas terjadi secara alami selama proses fermentasi. Dalam proses meningkatkan biogas, tingginya kandungan CO_2 dapat menurunkan nilai kalor biogas dan memisahkan CH_4 , sedangkan penurunan karbon dioksida meningkatkan kualitas dan nilai energi gas sehingga setara dengan gas alam (Alfanz et al, 2016).

Gas Methana (CH_4)

Data kandungan methana pada tiap perlakuan bahan D1, D2, D3 dan D4 di sajikan pada grafik sebagai berikut :

**Gambar 6. Gas Methana**

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, kandungan methana pada D1 berada dihari ke-8 12 serta 16 yaitu 374 ppm kemudian naik 379 ppm dan turun 273 ppm, untuk D2 mengalami ke naikan kandungannya pada hari ke-16, 20 serta 24 yang awalnya 370 ppm, 467 ppm yang terakhir 469 ppm, untuk D3 mengalami naik turun mulai hari ke-8 samapai 24 yang awalnya 300 ppm, naik 313 ppm,665 ppm, turun 426 ppmdan terakhir 369 ppm, untuk D3 mengalami penurunan dari hari ke-12 sampai 24 yang awalnya 304 ppm, turun menjadi 298 ppm, 125 ppm dan terakhir 51 ppm.

Kualitas Nyala Api

Sebelum membahas tentang hasil kualitas nyala api dalam penelitian ini, untuk kualitas nyala api menurut teori warna biru termasuk kualitas api yang bagus, seperti pada gambar di bawah ini kualitas api setiap perlakuan bahan D1,D2,D3 dan D4.

**D1****D2****D3****D4**

Berdasarkan gambar di atas kualitas nyala api tertinggi di perlakuan bahan D3 karena ada warna biru pada apinya, sedangkan D2 memiliki kualitas nyala api yang besar namun, cepat menghilang karena kandungan gass methananya dibawa dari perlakuan bahan D3, untuk perlakuan bahan D1 dan D4 kualitas nyala api hampir sama.

Pembahasan

1. Desain Eksperimental dan Signifikansi Penelitian

Penelitian ini dirancang secara sistematis untuk mengevaluasi efektivitas penambahan *starter* EM4 dengan konsentrasi yang bervariasi (0%, 10%, 15%, dan 20%) terhadap produksi biogas dari substrat campuran limbah organik, yaitu kotoran sapi, kambing, dan batang pisang. Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi konsentrasi optimal yang dapat memaksimalkan hasil, baik dari segi kuantitas maupun kualitas gas. Parameter yang diukur bersifat komprehensif, mencakup variabel proses fundamental seperti pH dan suhu, serta variabel hasil utama seperti volume gas, komposisi gas (termasuk metana, karbondioksida, hidrogen sulfida, dan oksigen), hingga uji kualitas nyala api secara praktis. Dengan membandingkan empat perlakuan berbeda (D1, D2, D3, dan D4), penelitian ini memberikan

wawasan mendalam mengenai peran mikroorganisme tambahan dalam mempercepat dan mengoptimalkan proses dekomposisi anaerobik, yang sangat relevan untuk aplikasi biogas skala rumah tangga maupun komunal (Amalia et al., 2024; Gulo et al., 2023).

2. Analisis Kondisi Proses: Peran Kunci pH dan Suhu

Keberhasilan produksi biogas sangat bergantung pada terjadinya kondisi lingkungan yang optimal bagi mikroorganisme metanogenik, terutama pH dan suhu. Data penelitian menunjukkan bahwa semua perlakuan berhasil menjaga parameter ini dalam rentang yang kondusif. Nilai pH akhir pada semua perlakuan (D1-D4) stabil berada di kisaran netral (6.5-7.5), yang sangat ideal untuk aktivitas bakteri metanogenik dan sekaligus menghasilkan produk sampingan *bio-slurry* yang aman digunakan sebagai pupuk. Sementara itu, data suhu menunjukkan pola fluktuasi yang khas dari proses fermentasi, dengan puncak aktivitas terjadi antara hari ke-12 dan ke-16. Perlakuan dengan penambahan EM4 (D2, D3, dan D4) secara konsisten menunjukkan suhu yang sedikit lebih tinggi dibandingkan kontrol (D1), mengindikasikan aktivitas mikroba yang lebih intens. Hal ini membuktikan bahwa EM4 berhasil berfungsi sebagai akselerator metabolisme dalam digester(Zhou et al., 2020).

3. Evaluasi Kuantitas: Volume Produksi Gas

Dari segi kuantitas, analisis volume gas yang dihasilkan menunjukkan bahwa tidak semua konsentrasi EM4 memberikan hasil yang sama. Perlakuan D3, dengan konsentrasi EM4 sebesar 15%, secara signifikan mengungguli perlakuan lainnya dengan mencapai volume gas puncak tertinggi, yaitu 6801.60 cm³ pada hari ke-12. Perlakuan D2 (10% EM4) menunjukkan hasil yang lebih baik dari kontrol (D1), namun tidak seoptimal D3. Menariknya, perlakuan D4 (20% EM4) tidak menunjukkan peningkatan volume yang lebih lanjut, bahkan puncaknya setara dengan D1 (kontrol) dan tercapai lebih lambat. Temuan ini menyiratkan adanya titik konsentrasi optimal. Penambahan EM4 hingga 15% terbukti efektif mempercepat dan meningkatkan produksi gas, namun penambahan yang lebih tinggi (20%) tampaknya tidak memberikan manfaat tambahan, bahkan berpotensi menjadi kurang efisien. Hal ini menunjukkan bahwa "lebih banyak" tidak selalu berarti "lebih baik" dalam inokulasi mikroba.(Ács et al., 2015)

4. Analisis Kualitas Gas: Konsentrasi Metana (CH4) sebagai Indikator Utama

Volume gas yang tinggi tidak akan berarti jika kualitasnya rendah. Kualitas biogas ditentukan oleh konsentrasi gas metana (CH4) yang merupakan komponen utama bahan bakar. Pada aspek ini, perlakuan D3 (15% EM4) kembali menunjukkan keunggulannya secara superior. Grafik komposisi gas memperlihatkan bahwa D3 berhasil mencapai puncak konsentrasi metana tertinggi yaitu 665 ppm, jauh melampaui perlakuan lainnya. Perlakuan D2 (10% EM4) juga menunjukkan tren peningkatan konsentrasi metana yang positif dan stabil. Sebaliknya, perlakuan D4 (20% EM4) justru menunjukkan tren penurunan konsentrasi metana setelah mencapai puncak awal yang rendah. Hal ini menguatkan dugaan bahwa konsentrasi starter yang berlebihan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem mikroba dan menghambat fase metanogenesis. Dengan demikian, D3 tidak hanya unggul dalam kuantitas, tetapi juga superior dalam kualitas energi yang dihasilkan (Yan et al., 2023).

5. Analisis Komposisi Gas Pengotor (H2S, CO2, dan O2)

Selain metana, keberadaan gas-gas pengotor seperti Hidrogen Sulfida (H2S), Karbodioksida (CO2), dan Oksigen (O2) juga menjadi indikator penting dari efisiensi proses. Data menunjukkan bahwa perlakuan D1 (kontrol) menghasilkan kadar H2S tertinggi (890 ppm), yang sangat korosif dan tidak diinginkan, sementara perlakuan dengan EM4 (terutama D2) mampu menekan produksinya secara drastis. Hal ini menunjukkan peran positif EM4 dalam mengarahkan jalur dekomposisi menjadi lebih bersih. Kadar CO2 yang berfluktuasi adalah hal yang wajar, namun kualitas biogas yang baik ditandai dengan rasio CH4 terhadap

CO₂ yang tinggi. Sementara itu, keberadaan O₂, meskipun dalam jumlah kecil, bersifat toksik bagi bakteri metanogenik. Fluktuasi oksigen pada beberapa pengukuran awal kemungkinan mengganggu proses, dan stabilnya produksi metana pada fase selanjutnya menunjukkan bahwa kondisi anaerobik yang ideal telah tercapai (Soares et al., 2017).

6. Validasi Praktis Kualitas Biogas Melalui Uji Nyala Api

Sebagai puncak dari analisis kuantitatif, uji kualitas nyala api memberikan validasi kualitatif yang mudah dipahami dan sangat meyakinkan. Secara teoretis, nyala api yang berwarna biru menandakan pembakaran yang lebih sempurna dan efisien, yang merupakan ciri khas dari gas dengan kandungan metana tinggi. Hasil pengujian secara visual mengkonfirmasi temuan dari analisis komposisi gas. Perlakuan D3 (15% EM4) menjadi satu-satunya yang mampu menghasilkan nyala api dengan warna biru yang jelas, membuktikan superioritas kualitas biogasnya. Sebaliknya, perlakuan D1 (kontrol) dan D4 (20% EM4) hanya menghasilkan nyala api berwarna kuning-oranye yang lebih kecil dan kurang stabil. Uji sederhana ini secara efektif merangkum seluruh hasil penelitian dan menegaskan bahwa perlakuan D3 menghasilkan biogas dengan nilai kalor dan kualitas pembakaran terbaik.

7. Sintesis dan Kesimpulan: Konsentrasi EM4 Optimal untuk Produksi Biogas

Berdasarkan keseluruhan analisis data, mulai dari parameter proses, volume, komposisi gas, hingga uji nyala api, dapat disintesiskan sebuah kesimpulan yang kuat dan jelas. Penambahan starter EM4 terbukti secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi biogas dari substrat campuran kotoran ternak dan batang pisang. Namun, pengaruhnya sangat bergantung pada konsentrasi yang digunakan. Penelitian ini secara meyakinkan menunjukkan bahwa konsentrasi EM4 sebesar 15% (perlakuan D3) merupakan titik optimal. Pada konsentrasi ini, tercapai kombinasi terbaik antara volume gas tertinggi, kandungan metana paling tinggi, kadar gas pengotor yang terkontrol, dan kualitas nyala api superior. Dengan demikian, untuk aplikasi praktis, penggunaan starter EM4 pada konsentrasi 15% sangat direkomendasikan untuk memaksimalkan potensi energi dari limbah organik sejenis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perlakuan bahan D3 merupakan formula paling potensial untuk menghasilkan energi terbarukan biogas sebagai pengganti LPG untuk kebutuhan rumah tangga. Keunggulan perlakuan ini terbukti secara komprehensif, karena tidak hanya menghasilkan volume gas tertinggi (6801.60 cm³) pada kondisi pH yang ideal, tetapi juga kualitas gas terbaik yang ditandai dengan konsentrasi metana (CH₄) paling tinggi (665 ppm) dan kualitas nyala api berwarna biru. Berdasarkan temuan ini, disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk menggunakan media digester yang lebih besar guna meningkatkan skala produksi. Selain itu, perlu diperhatikan agar tidak menambahkan starter EM4 secara berlebihan karena berisiko menurunkan pH dan menghambat efektivitas proses fermentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Acs, N., et al. (2015). Bioaugmentation of biogas production by a hydrogen-producing bacterium. *Bioresource Technology*, 186, 286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.098>
- Alfanz, R., et al. (2016). Perancangan dan implementasi sistem monitoring produksi biogas pada biodigester. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 5(1), 2–8. <https://doi.org/10.20449/jnte.v5i1.216>

- Amalia, D., et al. (2024). Analisis karakteristik tanah gambut berserat dan dampaknya terhadap infrastruktur. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 68. <https://doi.org/10.29103/tj.v14i1.1008>
- 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)*.
- Damayanti, A. A., et al. (2021). Pemanfaatan sampah organik dalam pembuatan biogas sebagai sumber energi kebutuhan hidup sehari-hari. *Eksbergi*, 17(3), 182. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v17i03.2803>
- Effendi, Z., & Lase, C. A. (2022). Upaya peningkatan performance mesin screw press berdasarkan nilai idling dan minor stoppages dan reduced speed di pabrik kelapa sawit kapasitas 30. *Jurnal Agro Fabrica*, 4(2), 60–73. <https://doi.org/10.47199/jaf.v4i2.113>
- Gulo, E. G. W., et al. (2023). Bacteria Pseudomonas taiwanensis as a decomposing agent of peat fiber. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Terapan*, 8(2), 89. <https://doi.org/10.33503/ebio.v8i02.3539>
- Husain, S., et al. (2021). Pengaruh efektifitas rasio campuran bahan limbah kotoran sapi dan limbah pohon pisang terhadap hasil biogas. *Jurnal Teknik*, 6(1), 8–11.
- Meriatna, et al. (2019). Pengaruh waktu fermentasi dan volume bio aktivator EM4 (Effective Microorganisme) pada pembuatan pupuk organik cair (POC) dari limbah buah-buahan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 7(1), 13. <https://doi.org/10.29103/jtku.v7i1.1172>
- Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. (2020). Energi bersih dan ramah lingkungan dari biomassa untuk mengurangi efek gas rumah kaca dan perubahan iklim yang ekstrim. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(3), 86–99. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9990>
- Roja, A., et al. (2024). Rancang bangun sistem kendali proses produksi biogas. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(1), 1–7.
- Soares, C. M. T., et al. (2017). Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. *Nativa*, 5, 10. <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05nespa10>
- Wibowo, Y. E., & Windarta, J. (2022). Kondisi gas bumi Indonesia dan energi alternatif pengganti gas bumi. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.10042>
- Yan, Y.-J., et al. (2023). A review on start-up phase optimization of kitchen waste anaerobic digestion. *Fermentation*, 9(7), 603. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070603>
- Yonathan, A., et al. (2013). Produksi biogas dari eceng gondok (*Eichornia crassipes*): Kajian konsistensi dan pH terhadap biogas dihasilkan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), 211–215.
- Zhou, H., et al. (2021). Optimization of a newly developed electromethanogenesis for the highest record of methane production. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124363. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124363>