

ANALISIS PENGARUH VARIASI STARTER EM4 TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI KOTORAN TERNAK DAN LIMBAH BUAH SEMANGKA

Aditya Gilang¹, Kosjoko², Nely Ana Mufarida^{3*}

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

e-mail: nelyana@unmuhjember.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang kaya sumber daya alam dan memiliki potensi sumber energi fosil melimpah yang dapat dibuat bahan pembuatan gas. Ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar gas (LPG) dengan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat dapat mengakibatkan krisis energi bagi masyarakat sehingga mencari solusi dengan menggunakan biomassa sebagai bahan pembuatan gas. Biomassa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah pertanian salah satunya semangka dan kotoran hewnia ternak yaitu sapi serta kambing. Pada pembuatan biogas diperlukan fermentasi yang cukup lama biasanya paling umum selama 36 hari untuk menghasilkan gas metana yang optimal, namun terdapat bahan untuk mempercepat proses fermentasi yaitu EM4. Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh konsentrasi EM4 10%, 15% dan 20% terhadap produksi biogas dan efisiensi waktu fermentasi dari campuran kotoran ternak sapi, kambing dan limbah buah. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisi bagaimana pengaruh konsentrasi EM4 10%, 15% dan 20% terhadap produksi biogas dan efisiensi waktu fermentasi dari campuran kotoran ternak sapi, kambing dan limbah buah. Metode penelitian ini yaitu eksperimen dengan mengumpulkan data-data yang sudah dilakukan pengujian atau analisis. Hasil dari penelitian ini yaitu limbah semangka, kotoran sapi, kambing dan EM4 10% lebih unggul dari pada campuran EM4 15% serta 20% karena mengandung nilai pH ideal yaitu 6,8, suhu mesofilik 34°C, komposisi gas O₂ 20,9%, H₂S terkecil 2 ppm, CO₂ terkecil 2 ppm, CH₄ tertinggi yaitu 766 ppm dan volume tertinggi 7.536 cm³.

Kata Kunci: *EM4, pH, Komposisi Gas*

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic country rich in natural resources and has abundant potential for fossil energy sources that can be used as gas production materials. The community's dependence on gas fuel (LPG) with increasing population growth can result in an energy crisis for the community, so they are looking for a solution by using biomass as a gas production material. The biomass used in this study is agricultural waste, one of which is watermelon and livestock manure, namely cows and goats. In making biogas, a fairly long fermentation is needed, usually the most common for 36 days to produce optimal methane gas, but there are materials to accelerate the fermentation process, namely EM4. The formulation of the problem in this study is how the effect of EM4 concentration of 10%, 15% and 20% on biogas production and fermentation time efficiency of a mixture of cow, goat and fruit waste manure. The purpose of this study is to analyze how the effect of EM4 concentration of 10%, 15% and 20% on biogas production and fermentation time efficiency of a mixture of cow, goat and fruit waste manure. The research method is an experiment by collecting data that has been tested or analyzed. The results of this study are that watermelon waste, cow dung, goat dung and 10% EM4 are superior to the mixture of 15% and 20% EM4 because they contain the ideal pH value of 6.8, mesophilic temperature of 34°C, O₂ gas composition of 20.9%, the smallest H₂S of 2 ppm, the smallest CO₂ of 2 ppm, the highest CH₄ of 766 ppm and the highest volume of 7,536 cm³.

Keywords: *EM4, pH, Gas Composition.*

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai sebuah negara kepulauan yang kaya akan sumber daya alam, memiliki potensi sumber energi fosil yang melimpah. Namun, kekayaan ini juga menciptakan sebuah tantangan besar, yaitu tingginya tingkat ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar berbasis fosil, salah satunya adalah gas elpiji (LPG) untuk kebutuhan rumah tangga sehari-hari. Ketergantungan ini, ditambah dengan laju pertumbuhan penduduk yang terus meningkat, membawa dampak negatif yang serius baik bagi masyarakat maupun lingkungan. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, permintaan energi pun melonjak, sementara sumber energi fosil bersifat terbatas dan tidak dapat diperbarui. Kondisi ini, sebagaimana dicatat oleh Wardana & Mufarida (2023), secara perlahan namun pasti mendorong Indonesia menuju sebuah krisis energi yang memerlukan solusi segera dan berkelanjutan.

Permasalahan krisis energi bukanlah isu yang bersifat lokal semata, melainkan telah menjadi sebuah tantangan global yang semakin mendesak untuk diatasi. Hal ini disebabkan oleh pola konsumsi global yang cenderung eksploratif terhadap sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti gas bumi, yang diekstraksi secara masif untuk memenuhi berbagai kebutuhan, termasuk kebutuhan rumah tangga. Seiring dengan menipisnya ketersediaan cadangan gas bumi global sementara kebutuhan terus meningkat, komunitas ilmiah dan para peneliti di seluruh dunia ter dorong untuk secara intensif mencari dan mengembangkan berbagai sumber energi terbarukan (Mufarida, 2020). Upaya ini menjadi sebuah keharusan untuk menjamin keberlanjutan energi di masa depan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Di antara berbagai pilihan energi terbarukan yang ada, seperti tenaga surya dan angin, energi biomassa menunjukkan potensi yang sangat besar, terutama untuk aplikasi di tingkat masyarakat. Energi biomassa dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk produksi biogas yang berasal dari limbah organik (Mufarida & Abidin, 2020). Biogas dianggap sebagai salah satu solusi paling menjanjikan untuk mengatasi kelangkaan bahan bakar dalam skala rumah tangga, karena menawarkan alternatif yang lebih aman dan ekonomis dibandingkan elpiji. Lebih dari itu, proses produksi biogas juga memberikan manfaat ekologis tambahan, yaitu dengan mengurangi polusi limbah. Pemanfaatan limbah seperti kotoran sapi, kotoran kambing, dan bahkan limbah buah semangka dapat secara signifikan mengurangi bau dan pencemaran lingkungan (Andika & Mufarida, 2020).

Meskipun biogas menawarkan solusi yang sangat ideal, implementasinya di lapangan masih dihadapkan pada sebuah kendala teknis yang signifikan, yaitu lambatnya proses fermentasi. Secara konvensional, proses fermentasi anaerobik untuk menghasilkan gas metana dalam jumlah yang optimal membutuhkan waktu yang cukup lama, umumnya berlangsung selama 36 hari atau lebih. Durasi yang panjang ini menjadi sebuah tantangan praktis yang dapat mengurangi minat masyarakat untuk mengadopsi teknologi biogas. Kesenjangan antara potensi besar biogas sebagai sumber energi bersih dengan realitas proses produksinya yang lambat inilah yang menjadi masalah utama yang perlu dicarikan solusinya, agar teknologi ini dapat lebih mudah diterima dan diimplementasikan secara luas.

Untuk menjembatani kesenjangan tersebut, berbagai penelitian telah berupaya mencari cara untuk mempercepat proses fermentasi biogas. Salah satu inovasi yang paling menjanjikan adalah penggunaan bio-aktivator *Effective Microorganism 4* (EM4) sebagai bahan *starter*. EM4 mengandung campuran mikroorganisme yang dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik. Sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya, penggunaan EM4 dalam pembuatan biogas terbukti mampu memunculkan kandungan gas metana secara signifikan lebih awal, yaitu pada hari ke-12. Temuan ini menegaskan bahwa EM4 memiliki potensi besar untuk mengatasi masalah lambatnya laju fermentasi, namun pertanyaan mengenai konsentrasi optimal

penggunaannya masih perlu digali lebih dalam.

Berangkat dari latar belakang dan kesenjangan masalah tersebut, maka penelitian ini dirancang dengan sebuah nilai kebaruan yang spesifik. Inovasi dari penelitian ini terletak pada upayanya untuk menganalisis secara kuantitatif pengaruh variasi konsentrasi EM4 (10%, 15%, dan 20%) terhadap total produksi biogas serta efisiensi waktu fermentasi. Penelitian ini akan menggunakan substrat campuran yang terdiri dari kotoran sapi, kotoran kambing, dan limbah buah semangka, yang merupakan bahan baku yang mudah ditemukan di lingkungan masyarakat. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah untuk memberikan data empiris yang jelas mengenai konsentrasi EM4 yang paling efektif, sehingga dapat menghasilkan sebuah protokol pembuatan biogas yang lebih cepat dan efisien.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam penelitian ini yaitu eksperimen dengan mengumpulkan data-data dan menganalisis subjek yang diteliti dilakukan menggunakan semua alat yang ada atau bisa juga disebut mengadakan percobaan secara langsung di Laboratorium. Tempat penelitian yang digunakan yaitu bertempat di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember. Waktu Penelitian berkisar antara bulan Juni-Juli karena membutuhkan waktu satu bulan dalam penelitian ini.

Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut.

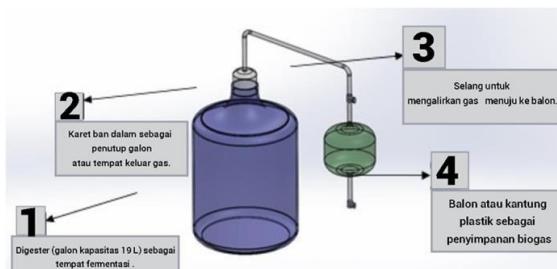
Alat:

1. Galon air
2. Termometer
3. Kantong plastik
4. Kertas pH
5. Gas multi detector
6. Skop
7. Timbangan
8. Gelas ukur
9. Timba

Bahan:

1. Kotoran sapi
2. Kotoran kambing
3. Limbah Buah Semangka
4. EM4

Desain Alat Digester Penelitian



Gambar 1 Digester

Berikut keterangan gambar di atas:

1. Tabung fermentasi atau digester memakai galon berkapasitas 19 liter.
2. Karet ban untuk mengatasi terjadinya kebocoran pada tutup digester.
3. Selang untuk menyalurkan gas dari digester ke plastik penyimpanan gas
4. Plastik sebagai media penyimpanan gas

Prosedur Proses Penelitian

1. Pertama mengambil bahan baku limbah buah semangka di petani, kotoran sapi dan kotoran kambing di peternakan.
2. Selanjutnya menyiapkan EM4.

3. Mencampur limbah buah semangka dan kotoran hewan ternak dengan starter EM4 (10%, 15% dan 20%).
4. Kemudian aduk limbah didalam digester sampai tercampur merata
5. Melakukan pengecekan pH sampai pH mencapai angka 6-8 atau netral.
6. Kemudian mengecek ratio C/N dari campuran *stater* tersebut. Jika rasio C/N sudah sesuai, digester ditutup rapat dan dilakukan pengujian terhadap suhu (C°), volume biogas (cm^3), Kandungan Oksigen (O_2), Nitrogen sulfida (H_2S), Karbon Dioksida (CO_2) dan kandungan Gas Metana (CH_4)
7. Pengujian dilakukan untuk EM4 10% 3 hari sekali, EM4 15% 4 hari sekali dan EM4 20% 5 hari sekali selama 32 hari, hari.

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	Perlakua n Bahan	Limbah Semangka	Kotoran Sapi	Kotoran Kambinç	Total %
1	EM4 10%	40%	25%	25%	100
2	EM4 15%	35%	25%	25%	100
3	EM4 20%	30%	25%	25%	100

Waktu Proses Pengujian

Proses pembuatan biogas dalam penelitian ini terdapat waktu proses pengujian yang bebeda karena terdapat perbedaan dari masing-masing perlakuan bahan , berikut tabel waktu proses penelitian.

Tabel 2. Waktu Pengujian

Perlakuan Bahan	Waktu	Volume cm^3
EM4 10%	3 Hari	0
EM4 15%	4 Hari	0
EM4 20%	5 Hari	0

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan menghasilkan biogas dari limbah semangka, kotoran hewan sapi, kambing ndan starter EM4 yang divariasikan dengan melakukan pengujian yaitu rasio C/N nilai pH awal ,akhir, suhu, volume, komposisi dan variasi waktu penelitian 3,4 dan 5 hari sekali selama 32 hari. Berikut perlakuan bahan yang akan di aplikaasikan menjadi D1,D2,dan D3.

EM4 10% : Limbah semangka, Kotoran sapi dan Kotoran kambing

EM4 15% : Limbah semangka, Kotoran sapi dan Kotoran kambing

EM4 20% : Limbah semangka, Kotoran sapi dan Kotoran kambing

Hasil

Rasio C/N

Cara untuk pengujian rasio C/N sebenarnya ada dua yaitu dengan menguji sampel kotoran dan rumus namun, untuk mengehemat biaya pada penelitian ini menggunakan rumus kadungan carbon di bagi (:) nitrogen di hitung sebelum dicampur sebagai berikut.

1. Kotoran sapi = $\frac{40}{2} = 20$
2. Kotoran kambing = $\frac{45}{2} = 22,5$

Nilai pH

Terdapat dua cara mengetahui nilai pH dengan menggunakan alat pH meter dan kertas pH, dalam penelitian ini menggunakan kertas pH yang sederhana, berikut hasil nilai pH awal, campuran dan akhir.

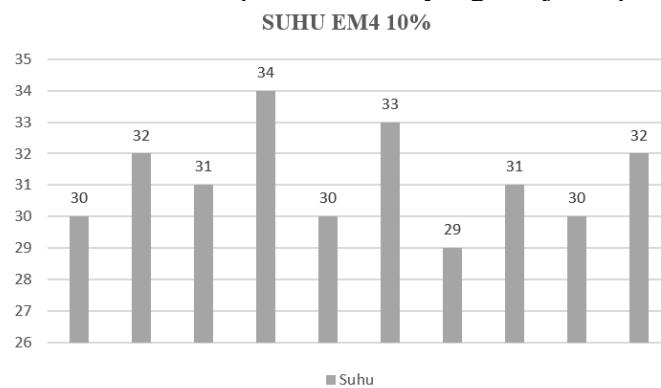
Tabel 3. Nilai pH

Kategori	Sub-Kategori	Jenis Pengukuran	Nilai pH
Limbah	Semangka	pH Awal	5.2
Limbah	Kotoran Sapi	pH Awal	6.8
Limbah	Kotoran Kambing	pH Awal	7.0
EM4	EM4 (10%)	pH Campuran	6.8
EM4	EM4 (15%)	pH Campuran	6.3
EM4	EM4 (20%)	pH Campuran	6.0
EM4	EM4 (10%)	pH Akhir	6.3
EM4	EM4 (15%)	pH Akhir	6.0
EM4	EM4 (20%)	pH Akhir	

Tabel nilai pH ini menyajikan data penting mengenai perubahan keasaman atau kebasaan pada berbagai jenis limbah dan pengaruh penambahan Effective Microorganisms 4 (EM4). Pada awalnya, pH limbah organik seperti semangka menunjukkan nilai 5.2, sedangkan kotoran sapi dan kotoran kambing masing-masing memiliki pH awal 6.8 dan 7.0, mengindikasikan bahwa kotoran hewan cenderung mendekati netral. Setelah dicampur dengan EM4, nilai pH campuran mengalami perubahan. Misalnya, pada konsentrasi EM4 10%, pH campurannya adalah 6.8, lalu turun menjadi 6.3 pada 15%, dan mencapai 6.0 pada 20% EM4, menunjukkan sedikit peningkatan keasaman seiring dengan peningkatan konsentrasi EM4. Menariknya, nilai pH akhir setelah proses pengolahan, khususnya pada konsentrasi EM4 10% dan 15%, kembali menunjukkan sedikit penurunan menjadi 6.3 dan 6.0 secara berturut-turut, menyiratkan adanya stabilisasi pH yang mendukung proses fermentasi atau dekomposisi.

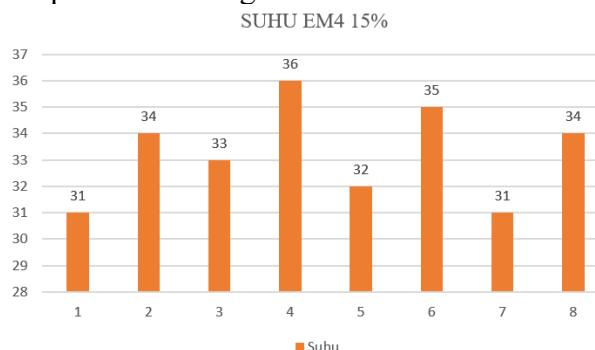
Suhu atau Temperatur

Pada penelitian ini pengukuran suhu dilakukan sesuai dengan tabel waktu penelitian yaitu untuk EM4 10% 3 kali, EM4 15% 4 hari sekali dan EM4 20% 5 hari sekali menggunakan alat termometer, berikut suhu dalam penelitian ini yang disajikan pada grafik.



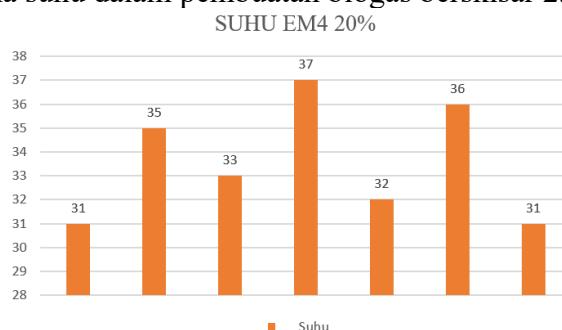
Gambar 2. Grafik Suhu EM4 10%

Berdasarkan grafik di atas , suhu berada diatas 25°C sangat cocok dalam pembuatan biogas karena suhu dalam pembuatan biogas berskisar $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3. Grafik Suhu EM4 15%

Berdasarkan grafik di atas , rata-rata suhu berada di atas 30°C sangat cocok dalam pembuatan biogas karena suhu dalam pembuatan biogas berskisar $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4. Grafik Suhu EM4 20%

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, suhu rata-rata diatas 30°C sangat cocok dalam pembuatan biogas karena suhu dalam pembuatan biogas berskisar $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$.

Komposisi Gas

Pada penelitian ini, menggunakan alat gas multi detector dan menghasilkan beberapa kandungan gas di dalamnya yang terdiri dari Oksigen, Hydrogen sulfida, Karbon dioksida dan Methana. Berikut tabel hasil komposisi gas dari masing-masing bahan.

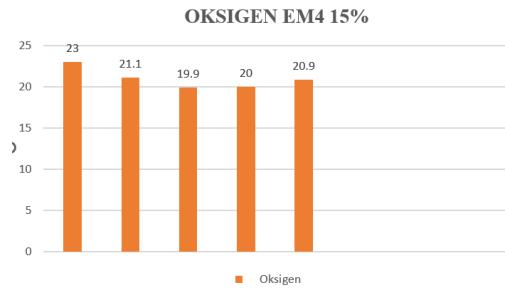
Oksigen

Pada penelitian ini, kandungan oksigen di ambil dari masing-masing perlakuan bahan. Berikut grafik oksigen.



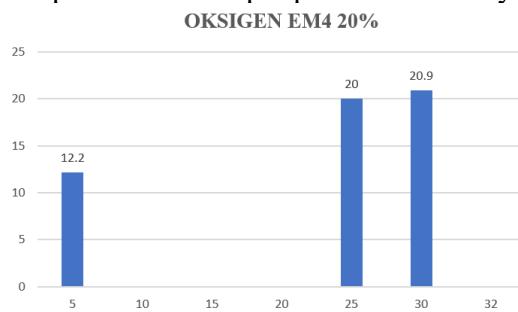
Gambar 5. Grafik Oksigen EM4 10%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan oksigen tertinggi berada pada hari ke 3 yaitu 24,5%, kemudian mengalami penurunan sampai pada hari ke 30 yaitu 20,9% dan naik lagi menjadi 21,1%.



Gambar 6. Grafik Oksigen EM4 15%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan oksigen tertinggi berada pada hari ke 4 yaitu 23,0%, kemudian mengalami penurunan sampai pada hari ke 20 yaitu 20,9%.

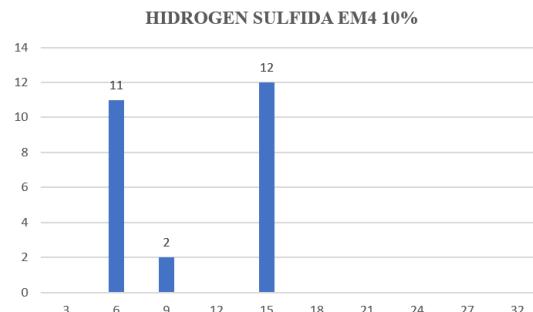


Gambar 7. Grafik Oksigen EM4 20%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan oksigen tertinggi berada di hari ke 25 yaitu 20,0% sedangkan terkecil berada pada hari ke 5 yaitu 12,2% dan rata-rata awal hingga akhir 0% atau tidak ada kandungan oksigen.

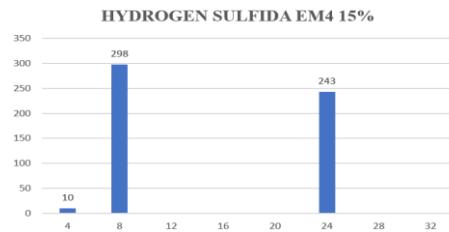
Hydrogen Sulfida

Hydrogen sulfida adalah gas yang terbentuk secara alami dari proses fermentasi dan berbau seperti telur busuk serta bisa menurunkan produksi gas methana. Berikut grafik hydrogen sulfida dari masing-masing perlakuan bahan.



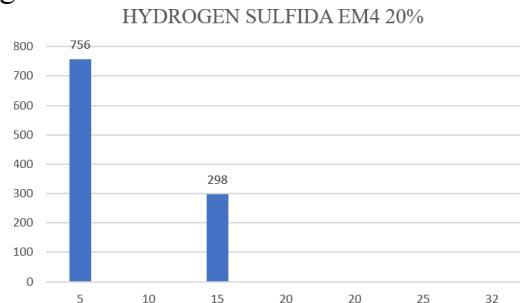
Gambar 8. Grafik Hydrogen Sulfida EM4 10%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Hydrogen Sulfida tertinggi berada di hari ke 10 yaitu 12 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 9 yaitu 2 ppm dan rata-rata 0% atau tidak ada kandungan Hydrogen Sulfida.



Gambar 9. Grafik Hydrogen Sulfida EM4 15%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Hydrogen Sulfida tertinggi berada di hari ke 8 yaitu 298 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 4 yaitu 10 ppm dan rata-rata 0% atau tidak ada kandungan Hydrogen Sulfida.

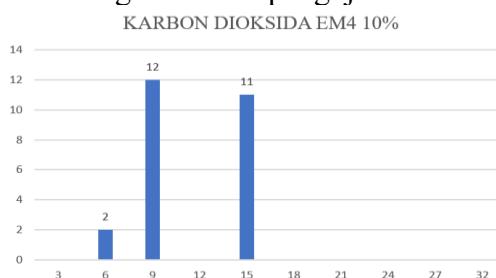


Gambar 10. Grafik Hydrogen Sulida EM4 20%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Hydrogen Sulfida tertinggi berada di hari ke 8 yaitu 298 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 4 yaitu 10 ppm dan rata-rata 0% atau tidak ada kandungan Hydrogen Sulfida.

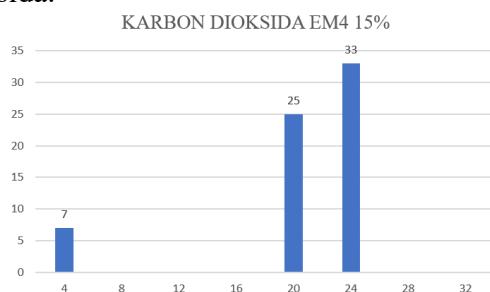
Karbon Dioksida

Karbon Dioksida merupakan gas yang tidak terbakar namun, perannya penting dalam pembentukan gas methana. Berikut grafik hasil pengujian karbon dioksida.



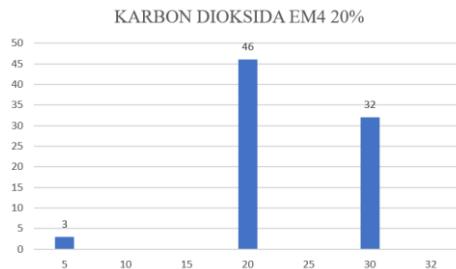
Gambar 11. Grafik Karbon Dioksida EM4 10%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Karbon Dioksida tertinggi berada di hari ke 9 yaitu 12 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 6 yaitu 2 ppm dan rata-rata 0% atau tidak ada kandungan Karbon Dioksida.



Gambar 12. Grafik Karbon Dioksida EM4 15%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Karbon Dioksida tertinggi berada di hari ke 24 yaitu 33 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 4 yaitu 7 ppm dan rata-rata 0%.

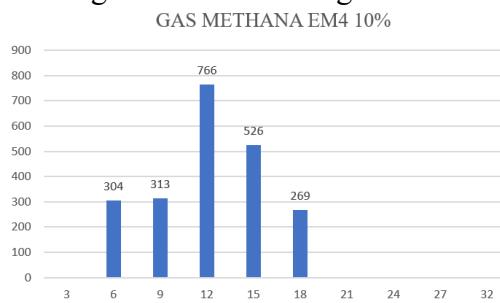


Gambar 13. Grafik Karbon Dioksida EM4 20%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Karbon Dioksida tertinggi berada di hari ke 20 yaitu 46 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 4 yaitu 7 ppm dan rata-rata 0% atau tidak ada kandungan Karbon Dioksida.

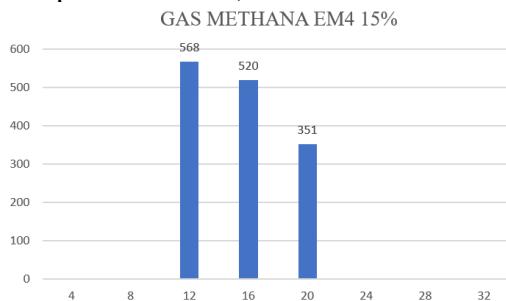
Gas Methana

Pada pembuatan biogas methana merupakan komponen utama yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik bahan organik oleh mikroorganisme. Berikut grafik gas methana.



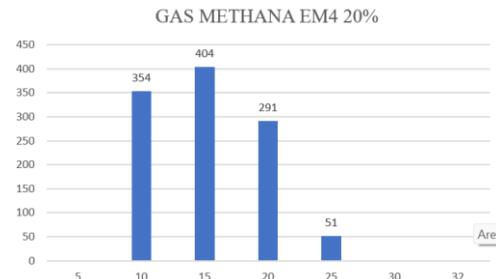
Gambar 14. Grafik Gas Methana EM4 10%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Methana tertinggi berada di hari ke 12 yaitu 766 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 18 yaitu 269 ppm dan rata-rata yang menghasilkan methana di atas 300 ppm seperti pada hari ke 6, 9 dan 15.



Gambar 15. Grafik Gas Methana EM4 15%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Methana tertinggi berada di hari ke 12 yaitu 568 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 20 yaitu 351 ppm dan rata-rata hari berikutnya methana tidak produksi.

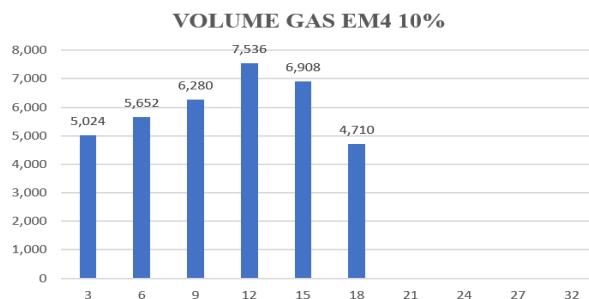


Gambar 16. Grafik Gas Methana EM4 20%

Berdasarkan grafik di atas, kandungan Methana tertinggi berada di hari ke 15 yaitu 404 ppm, sedangkan terkecil berada pada hari ke 25 yaitu 51 ppm dan rata-rata hari ke 5, 30 dan 32 methana tidak produksi.

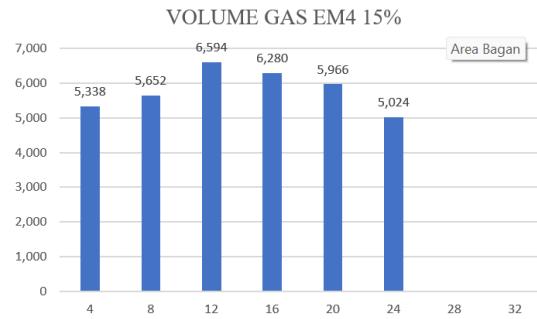
Volume Gas

Pada volume gas perhitungan jumlah gas yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan bahan. Penghitungan tersebut menggunakan rumus tabung $L=2\pi r(r+t)$ dengan menghitung luas permukaan plastik penyimpan gas, jari jari dan tinggi. Berikut grafik hasil perhitungan volume gas.



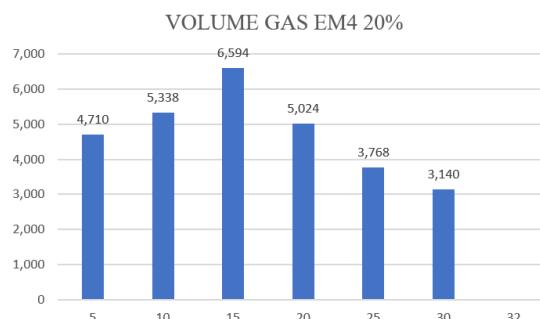
Gambar 17. Grafik Volume Gas EM4 10%

Berdasarkan grafik di atas, volume gas tertinggi berada di hari ke 12 yaitu 7536 cm^3 , sedangkan terkecil berada pada hari ke 18 yaitu 4.710 cm^3 .



Gambar 18. Grafik Volume Gas EM4 15%

Berdasarkan grafik di atas, volume gas tertinggi berada di hari ke 12 yaitu 6.594 cm^3 , sedangkan terkecil berada pada hari ke 24 yaitu 5.024 cm^3 , rata-rata hasil gas methana di atas 5.000 cm^3 .



Gambar 19. Grafik Gas Methana EM4 20%

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, volume gas tertinggi berada di hari ke 15 yaitu 6.594 cm³, sedangkan terkecil berada pada hari ke 30 yaitu 3.140 cm³, rata-rata hasil gas methana di atas 3.000cm³.

Hasil Proses Pengujian

Berikut hasil proses waktu pengujian dari masing-masing perlakuan bahan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Proses Pengujian

Perlakuan Bahan	Waktu	Volume cm ³
EM4 10%	3 Hari	7.536
EM4 15%	4 Hari	6.594
EM4 20%	5 Hari	6.594

Berdasarkan tabel di atas, pada EM4 10% memiliki volume tertinggi yaitu 7.536 sedangkan EM4 15% dan 20% memiliki volume yang sama yaitu 6.594 cm³.

Pembahasan

Pembahasan penelitian ini mengkaji efektivitas pemanfaatan kotoran sapi dan kambing sebagai substrat produksi biogas dengan penambahan aktivator EM4 pada konsentrasi berbeda. Analisis awal terhadap rasio C/N menunjukkan bahwa kotoran sapi (20) dan kambing (22,5) memiliki nilai yang sangat ideal untuk fermentasi anaerobik, berada dalam rentang optimal 20–30. Rasio ini krusial karena mencerminkan keseimbangan nutrisi yang esensial bagi mikroorganisme. Karbon berfungsi sebagai sumber energi utama, sementara nitrogen diperlukan untuk sintesis protein dan pertumbuhan sel mikroba metanogenik(Evidente & Almendrala, 2022; Fransiscus & Simangunsong, 2022). Keseimbangan ini mencegah dua masalah umum dalam produksi biogas: pertama, akumulasi amonia toksik yang terjadi jika rasio C/N terlalu rendah (kelebihan nitrogen), yang dapat menghambat aktivitas metanogen. Kedua, kekurangan nitrogen yang terjadi jika rasio terlalu tinggi, yang membatasi pertumbuhan populasi mikroba dan pada akhirnya memperlambat laju produksi metana. Dengan demikian, nilai C/N yang ideal pada bahan baku ini menjadi fondasi penting yang mendukung keberhasilan proses fermentasi dan memaksimalkan potensi rendemen biogas, sejalan dengan berbagai literatur yang menekankan pentingnya parameter ini sebagai prediktor awal efisiensi digester(Barrena et al., 2022; Cerón-Vivas et al., 2019; Fransiscus & Simangunsong, 2022; Matin & Hadiyanto, 2018; S & Kusnoputranto, 2022).

Dinamika pH selama proses fermentasi menunjukkan interaksi kompleks antara aktivitas mikroba dan kondisi biokimia dalam digester. Nilai pH awal yang cenderung asam pada semua perlakuan merupakan fenomena wajar dalam tahap awal dekomposisi bahan organik, di mana bakteri hidrolisis dan asidogenesis secara aktif mengubah polimer kompleks menjadi asam-asam lemak volatil (VFA), yang secara inheren menurunkan pH medium.



Penambahan EM4, yang kaya akan mikroorganisme fermentatif, terlihat mempercepat fase asidogenesis ini, terbukti dari penurunan pH yang lebih tajam seiring dengan peningkatan konsentrasi EM4. Namun, kondisi yang paling menguntungkan untuk produksi metana justru tercapai pada perlakuan EM4 10%. Pada konsentrasi ini, terjadi keseimbangan di mana produksi VFA cukup untuk menjadi substrat bagi metanogen, namun tidak berlebihan hingga menyebabkan inhibisi asam. Sebaliknya, pada konsentrasi 15% dan 20%, kemungkinan laju produksi VFA yang terlalu cepat melampaui kapasitas konsumsi metanogen, menciptakan lingkungan yang kurang optimal meskipun pH akhir masih dalam rentang ideal(Gulo et al., 2023; Han et al., 2020; He et al., 2019). Temuan ini menggarisbawahi pentingnya dosis aktivator yang tepat untuk menyinkronkan tahap asidogenesis dan metanogenesis, sesuai dengan pernyataan Amrin (2025) bahwa pH netral (6,8–7,8) adalah kunci untuk produksi metana yang stabil.

Perkembangan kondisi fisik pada akhir fermentasi memberikan wawasan tambahan mengenai efisiensi proses. Fenomena pemedatan yang terjadi pada perlakuan EM4 10%, hingga tidak memungkinkan pengukuran pH akhir, merupakan indikator kuat dari tingkat dekomposisi bahan organik yang sangat tinggi. Pemedatan ini kemungkinan besar disebabkan oleh konsumsi substrat yang masif oleh populasi mikroba yang sangat aktif, menghasilkan digestate (limbah akhir) yang padat dan kaya akan biomassa mikroba serta sisa nutrisi. Hal ini tidak hanya menandakan keberhasilan fermentasi tetapi juga menyoroti potensi nilai tambah dari produk sampingan(Aworanti et al., 2023; Evidente & Almendrala, 2022; Martinez et al., 2025). Digestate padat seperti ini sangat berpotensi untuk diolah lebih lanjut menjadi pupuk organik padat yang berkualitas tinggi, mendukung konsep ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah peternakan. Sementara itu, perlakuan EM4 15% dan 20% yang tetap dalam fase cair dengan pH akhir ideal menunjukkan bahwa meskipun proses fermentasi berjalan baik, tingkat dekomposisi substratnya tidak seintensif pada perlakuan 10%. Ini mengimplikasikan bahwa konsentrasi EM4 10% menciptakan kondisi paling seimbang untuk konversi biomassa secara menyeluruh.

Stabilitas suhu merupakan faktor eksternal yang kritis, dan hasil penelitian menunjukkan bahwa digester sederhana yang digunakan mampu menjaga kondisi mesofilik yang kondusif. Suhu yang tercatat berada di kisaran 29–37 °C, yang sepenuhnya mendukung aktivitas mikroba mesofilik, jenis mikroorganisme yang paling umum dan efisien dalam sistem biogas skala kecil hingga menengah. Meskipun batas bawah suhu (29 °C) sedikit di bawah rentang mesofilik tipikal yang sering dikutip (30–37 °C), konsistensi produksi gas sepanjang 32 hari membuktikan bahwa populasi mikroba mampu beradaptasi dengan baik. Keberhasilan ini menyoroti keunggulan desain digester galon 19 L yang, meskipun sederhana, terbukti memiliki insulasi termal yang memadai untuk meredam fluktuasi suhu harian dari lingkungan eksternal. Stabilitas termal ini sangat penting karena perubahan suhu yang drastis dapat menyebabkan stres pada mikroba, menurunkan laju metabolisme, dan mengganggu keseimbangan antara berbagai kelompok mikroorganisme dalam rantai dekomposisi anaerobik. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan kelayakan teknologi digester sederhana untuk aplikasi di tingkat rumah tangga atau peternakan skala kecil(Dölle & Fritz, 2022; Evidente & Almendrala, 2022; Heiske et al., 2015).

Analisis komposisi gas dalam biogas yang dihasilkan mengungkapkan dinamika biokimia yang terjadi di dalam digester. Kehadiran oksigen (O_2), meskipun dalam jumlah kecil, mengindikasikan adanya kebocoran minor pada sistem atau sisa udara yang terperangkap saat penyiapan awal, sejalan dengan pandangan Wulandari (2025). Karena metanogenesis adalah proses anaerobik obligat, keberadaan O_2 bersifat menghambat dan harus diminimalkan. Hidrogen sulfida (H_2S), produk sampingan dari reduksi sulfat, terdeteksi dan menjadi perhatian karena sifatnya yang korosif terhadap komponen logam, seperti yang diperingatkan oleh Dolen Copyright (c) 2025 CENDEKIA : Jurnal Ilmu Pengetahuan

& Naim (2024), yang berisiko merusak digester dan infrastruktur gas. Sementara itu, karbon dioksida (CO_2) merupakan produk alami yang tak terhindarkan dari fermentasi anaerobik. Konsentrasi yang signifikan, seperti yang dijelaskan oleh Fitri & Hamdi (2024), secara langsung memengaruhi nilai kalor biogas; semakin tinggi kandungan CO_2 , semakin rendah kualitas api yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang membutuhkan efisiensi termal tinggi, proses pemurnian untuk memisahkan CO_2 dari metana (CH_4) menjadi langkah yang diperlukan.

Fokus utama dari produksi biogas adalah kandungan metana (CH_4), karena gas inilah yang memiliki nilai bakar dan menjadi sumber energi utama. Secara teoretis, biogas berkualitas baik memiliki kandungan metana antara 55% hingga 80%, yang mampu menghasilkan nyala api biru yang bersih dan stabil. Meskipun penelitian ini tidak menyajikan data persentase kuantitatif, evaluasi volume gas total memberikan proksi yang kuat untuk menilai keberhasilan relatif antar perlakuan. Volume gas tertinggi yang dicapai oleh perlakuan EM4 10% (7536 cm^3) secara signifikan melampaui perlakuan lainnya (6594 cm^3). Hasil ini secara logis menghubungkan semua parameter optimal yang telah dibahas sebelumnya: rasio C/N yang ideal, dinamika pH yang seimbang, dan suhu mesofilik yang stabil, semuanya berkontribusi pada penciptaan lingkungan yang paling subur bagi aktivitas mikroba metanogenik. Volume gas yang dihasilkan pada perlakuan ini juga berada dalam rentang ideal untuk produksi biogas skala kecil, seperti yang dikemukakan oleh Purboyo & Fahrudin (2024) ($5.000\text{--}8.000 \text{ cm}^3$), yang mengonfirmasi bahwa perlakuan ini adalah yang paling efektif(Sasmita et al., 2022).

Secara keseluruhan, penelitian ini secara komprehensif menunjukkan bahwa penambahan aktivator EM4 dengan konsentrasi 10% pada substrat campuran kotoran sapi dan kambing merupakan strategi yang paling optimal untuk memaksimalkan produksi biogas dalam sistem digester anaerobik skala kecil. Keberhasilan ini didasarkan pada sinergi beberapa faktor kunci yang terkendali dengan baik: rasio C/N bahan baku yang ideal, pencapaian dan pemeliharaan pH dalam rentang netral yang kondusif bagi metanogen, serta stabilitas suhu mesofilik yang terjaga oleh desain digester sederhana. Volume gas tertinggi yang dihasilkan oleh perlakuan ini menjadi bukti kuantitatif dari efisiensi proses fermentasi. Lebih jauh lagi, penelitian ini juga menyoroti potensi digestate padat sebagai pupuk organik bernilai, menawarkan solusi pengelolaan limbah yang holistik dan berkelanjutan. Implikasinya, penerapan teknologi ini di tingkat peternakan skala kecil tidak hanya dapat menyediakan sumber energi terbarukan yang mandiri, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dari limbah ternak sambil menghasilkan produk sampingan yang bermanfaat bagi kesuburan tanah.

KESIMPULAN

Pada kesimpulan penelitian ini, limbah semangka, kotoran sapi, kambing dan EM4 10% lebih unggul dalam sumber energi pembuatan biogas dari pada campuran EM4 15% serta 20% karena mengandung nilai pH ideal yaitu 6,8, suhu mesofilik 34°C , komposisi gas O_2 20,9%, H_2S terkecil 2 ppm, CO_2 terkecil 2 ppm, CH_4 tertinggi yaitu 766 ppm dan volume tertinggi 7.536 cm^3 . Pada pembuatan biogas dalam penelitian ini, terdapat saran untuk peneliti berikutnya yaitu dalam penggunaan EM4 disarankan jangan terlalu banyak karena EM4 dapat menurunkan pH jika tidak di kontrol, untuk mengatasinya gunakan campuran yang terdapat kandungan karbon dan nitrogen lebih banyak contoh kontoran sapi dan kambing lebih banyak dari bahan utama, bisa di lakukan perbandingan 1:3.

DAFTAR PUTAKA

Amrin, M. Z. Z., et al. (2025). Pengaruh sistem sirkulasi terhadap produksi biogas dari kotoran sapi dan limbah cair tahu.



- Andika, & Mufarida, N. A. (2020). The effect of variation of horse dung, yeast and EM-4 on quality of fuel. *Rekayasa: Jurnal Aplikasi Teknologi dan Pendidikan*, 4(2).
- Aworanti, O. A., et al. (2023). Decoding anaerobic digestion: A holistic analysis of biomass waste technology, process kinetics, and operational variables. *Energies*, 16(8), 3378. <https://doi.org/10.3390/en16083378>
- Barrena, R., et al. (2022). Enhancement of anaerobic digestion with nanomaterials: A mini review. *Energies*, 15(14), 5087. <https://doi.org/10.3390/en15145087>
- Cerón-Vivas, A., et al. (2019). Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 92, 70. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20190627>
- Dolen, V. S., & Naim. (2024). *Pengolahan sampah organik menjadi biogas untuk memenuhi kebutuhan energi sehari-hari di Desa Lante Reok, Nusa Tenggara Timur*.
- Dölle, K., & Fritz, M. (2022). Study of treating wastewater with a laboratory benchtop septic systems. *Journal of Engineering Research and Reports*, 321. <https://doi.org/10.9734/jerr/2022/v23i12787>
- Evidente, R. C., & Almendrala, M. (2022). Anaerobic co-digestion of pre-treated press mud and Molasses-based distillery wastewater enhanced biogas production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 997(1), 12020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/997/1/012020>
- Fitri, N. C., & Hamdi. (2024). *Systematic literature review (SLR): Biogas sebagai sumber energi terbarukan*.
- Fransicus, Y., & Simangunsong, T. L. (2022). The role of C/N ratio on anaerobic decomposition of industrial tempeh wastewater for optimizing methane production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1), 12036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012036>
- Gulo, E. G. W., et al. (2023). Pengaruh usia stabilisasi tanah gambut melalui bioaugmentasi oleh bakteri *Pseudomonas taiwanensis*. *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 135. <https://doi.org/10.31849/siklus.v9i2.16064>
- Han, Y., et al. (2020). Reversibility of propionic acid inhibition to anaerobic digestion: Inhibition kinetics and microbial mechanism. *Chemosphere*, 255, 126840. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126840>
- He, P., et al. (2019). Responses of *Methanosarcina barkeri* to acetate stress. *Biotechnology for Biofuels*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1630-5>
- Heiske, S., et al. (2015). Evaluation of novel inoculation strategies for solid state anaerobic digestion of yam peelings in low-tech digesters. *Energies*, 8(3), 1802. <https://doi.org/10.3390/en8031802>
- Martinez, D. V., et al. (2025). Chelator-mediated Fenton post-treatment enhances methane yield from lignocellulosic residues via microbial community modulation. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-025-02672-z>
- Matin, H. H. A., & Hadiyanto, H. (2018). The influence of microbial consortium and C/N ratio to biogas production from rice husk waste by using Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD). *E3S Web of Conferences*, 73, 1018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187301018>
- Mufarida, N. A. (2020). *Pengaruh sistem sirkulasi terhadap produksi biogas dari kotoran sapi dan limbah cair tahu*.
- Mufarida, N. A., & Abidin, A. (2020). Quality of fuel liquid waste biogas tofu using starter composition variation. *Rekayasa Mesin*, 5(2), 17–21. <https://doi.org/10.21070/rem.v5i2.1001>



- Purboyo, P. D., & Fahrudin, A. (2024). *Analisa pengujian instalasi anaerobic digestion untuk pemanfaatan limbah cair tahu menjadi biogas dengan penambahan variasi kotoran sapi.*
- S., F. M. D., & Kusnoputranto, H. (2022). Analisis kualitas kompos dengan penambahan bioaktivator EM4 dan molase dengan metode takakura. *Poltekita: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 16(1), 67. <https://doi.org/10.33860/jik.v16i1.1039>
- Sasmita, A., et al. (2022). Pengaruh rasio penambahan air terhadap produksi biogas dari sampah kampus Bina Widya Universitas Riau dengan metode wet anaerobic digestion. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 6(2), 117. <https://doi.org/10.26760/jrh.v6i2.117-126>
- Wardana, A., & Mufarida, N. A. (2023). Pengaruh variasi starter kotoran kambing (goat dung) terhadap kualitas bahan bakar biogas kotoran sapi. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 8(1), 41–47. <https://doi.org/10.32528/jp.v8i1.567>
- Wulandari, N. L. (2025). *Analisis produksi biogas sebagai energi alternatif pada kompor biogas dari campuran kotoran sapi dan EM4 (Effective Microorganism) dengan menggunakan digester tipe batch.*