

**ANALISIS PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF
PADA KOMPOR BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN
EM4 (EFFECTIVE MICROORGANISM) DENGAN MENGGUNAKAN
DIGESTER TIPE BATCH**

(Skripsi)

NI LUH WULANDARI

2117041047



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

ANALISIS PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF PADA KOMPOR BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN EM4 (EFFECTIVE MICROORGANISM) DENGAN MENGGUNAKAN DIGESTER TIPE BATCH

Oleh

Ni Luh Wulandari

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis produksi biogas dari campuran kotoran sapi dan EM4 (*Effective Microorganism*) menggunakan digester tipe batch. Fokus utama penelitian meliputi pengukuran volume gas yang dihasilkan, analisis nyala api biogas sebagai potensi energi alternatif dan pengukuran nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) untuk menilai tingkat pencemaran serta efektivitas penguraian bahan organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan EM4 secara signifikan meningkatkan volume biogas yang dihasilkan, dengan variasi tanpa EM4 mencapai 1340 ml pada hari ketujuh, sedangkan variasi dengan EM4 250 ml, 500 ml, dan 1000 ml masing-masing menghasilkan 2300 ml, 3950 ml, dan 4470 ml. Uji nyala api menunjukkan bahwa biogas dengan EM4 memiliki kualitas yang lebih baik, ditandai dengan nyala api biru yang stabil. Selain itu, kadar COD menurun dari 515 mg/l pada variasi tanpa EM4 menjadi 232 mg/l, 237 mg/l, dan 281 mg/l pada variasi dengan EM4 menunjukkan peningkatan efektivitas penguraian bahan organik. Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan EM4 dapat meningkatkan produksi biogas dari kotoran sapi, menjadikannya solusi yang efektif untuk pengelolaan limbah organik dan pengembangan energi terbarukan.

Kata kunci: Biogas, Kotoran Sapi, *Effective Microorganism*, *Chemical Oxygen Demand*, Volume

ABSTRACT

ANALYSIS OF BIOGAS PRODUCTION AS ALTERNATIVE ENERGY IN BIOGAS STOVES FROM A MIXTURE OF COW MANURE AND EM4 (EFFECTIVE MICROORGANISM) USING BATCH TYPE DIGESTERS

By

Ni Luh Wulandari

This study aims to analyze the production of biogas from a mixture of cow manure and EM4 (Effective Microorganism) using batch type digesters. The main focus of the research includes measuring the volume of gas produced, analyzing the flame of biogas as a potential alternative energy source, and measuring the Chemical Oxygen Demand (COD) value to assess the level of pollution and the effectiveness of organic material degradation. The results show that the addition of EM4 significantly increases the volume of biogas produced, with the variation without EM4 reaching 1340 ml on the seventh day, while the variations with EM4 250 ml, 500 ml, and 1000 ml produced 2300 ml, 3950 ml, and 4470 ml, respectively. The flame test indicates that biogas with EM4 has better quality, characterized by a stable blue flame. Additionally, the COD level decreased from 515 mg/l in the variation without EM4 to 232 mg/l, 237 mg/l, and 281 mg/l in the variations with EM4, indicating an improvement in the effectiveness of organic material degradation. This study demonstrates that the use of EM4 can enhance biogas production from cow manure, making it an effective solution for organic waste management and renewable energy development.

Keywords: Biogas, Cow Manure, Effective Microorganism, Chemical Oxygen Demand, Volume

**ANALISIS PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF
PADA KOMPOR BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN
EM4 (EFFECTIVE MICROORGANISM) DENGAN MENGGUNAKAN
DIGESTER TIPE BATCH**

Oleh

Ni Luh Wulandari

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul

: Analisis Produksi Biogas Sebagai Energi
Alternatif Pada Kompor Biogas Dari Campuran
Kotoran Sapi Dan EM4 (Effective Microorganism)
Dengan Menggunakan Digester Tipe Batch

Nama Mahasiswa

: **Ni Lih Wulandari**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117041047

Jurusan

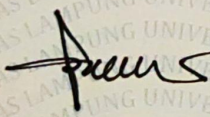
: Fisika

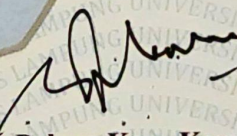
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

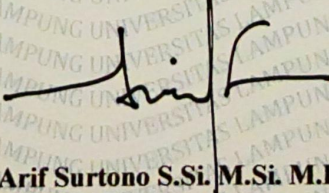


1. Komisi Pembimbing


Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002


Drs. Pulung Karo-Karo M.Si.
NIP. 196107231986031003

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


Arif Surtano S.Si. M.Si. M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T

Sekretaris

Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.

Penguji

Bukan Pembimbing

Drs. Amir Supriyanto, M.Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 Mei 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Mei 2025



Ni Luh Wulandari

NPM. 2117041047

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Ni Luh Wulandari, lahir di Talang Padang pada tanggal 15 Juni 2003. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan dasar di tempuh di SD Negeri 3 Talang Padang dan lulus pada tahun 2015, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Talang Padang dan lulus pada tahun 2018. Setelah itu penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Talang Padang dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi di Program Sarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 2025.

Selama menjalani studi di Program Sarjana Fisika, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Fisika Universitas Lampung di bidang Komunikasi dan Informasi. Melalui organisasi ini, penulis berkontribusi dalam menyebarkan informasi akademik dan kegiatan organisasi kepada seluruh mahasiswa fisika Universitas Lampung serta terlibat dalam pengelolaan media komunikasi internal maupun eksternal. Melalui pengalaman ini, penulis mengembangkan keterampilan dalam bidang komunikasi, pengelolaan informasi serta kerja sama tim.

Selain aktif berorganisasi, penulis juga mengikuti program, Pertukaran Mahasiswa Merdeka (PMM) yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan teknologi Republik Indonesia. Penulis juga turut berpartisipasi dalam

kegiatan Student Mobility Universiti Malaya, yang memperluas wawasan akademik dan budaya serta memperkuat jejaring internasional. Pengalaman ini menjadi momentum penting dalam mengembangkan kemampuan adaptasi, komunikasi lintas budaya dan perspektif global dalam bidang ilmu fisika.

Dalam bidang akademik, penulis dipercaya sebagai asisten responsi Fisika Dasar II serta asisten praktikum Pemrograman Komputer dan Fisika Eksperimen. Melalui peran ini, penulis berperan aktif dalam membantu mahasiswa lain memahami konsep-konsep fisika dasar, membimbing jalannya praktikum di laboratorium serta mengembangkan keterampilan teknis di bidang pemrograman. Pengalaman ini memberikan penulis kemampuan tambahan dalam pengelolaan kelas kecil, komunikasi akademik, serta peningkatan pemahaman materi melalui pengajaran.

Selain itu, penulis mengikuti program magang di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di Unit Laboratorium Teknologi Termodinamika Motor dan Propulsi. Selama magang, penulis terlibat dalam kegiatan pengujian emisi pada mesin kendaraan serta kalibrasi peralatan uji laboratorium yang berkaitan dengan performa termal dan emisi. Melalui pengalaman ini, penulis memperoleh pemahaman mendalam tentang aplikasi prinsip termodinamika dan pengendalian emisi dalam dunia riset dan industri, sekaligus memperkaya keterampilan praktis di bidang pengukuran, analisis data, dan pemeliharaan alat ukur energi.

Penulis menyadari bahwa ilmu dan pengalaman yang diperoleh selama masa studi ini masih jauh dari sempurna. Namun, dengan bekal yang ada, penulis berharap dapat terus belajar, berkembang, dan memberikan kontribusi positif bagi masyarakat, dunia akademik, serta dunia profesional. Penulis juga bertekad untuk tidak berhenti mengejar ilmu, memperbaiki diri, dan mengabdikan kemampuan yang dimiliki untuk kemajuan bangsa dan kesejahteraan umat manusia.

MOTTO

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan."

QS Al – Insyirah : 5-6

"The act of wanting to pursue something may be even more precious than actually achieving it. I feel like just being in the process itself is a prize, so you shouldn't think of it as stress. Think of it as happy stress and enjoy the journey, because it's that precious"

Mark Lee

"Teruslah melangkah, kisahmu tidak akan berakhir disini"

Na Jaemin

"Long story short, I survived"

Taylor Swift

"Every step, no matter how small, brings you closer to your dream"

Ni Luh Wulandari

"When we dream it, we can be the one"

NCT DREAM

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini kepada :

Bapak Muhaini dan Ibu Siti Maryani

Kedua orang tua saya yang telah melahirkan, membesarkan, dan mendidik saya, serta menjadi penyemangat saya dalam menjalani hidup selama ini

Bapak/Ibu Dosen FISIKA FMIPA UNILA

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang membangun kepadaku

Nih Luh Lintang Sari dan Bintang Sadewa

Adik-adik saya tersayang yang telah memberikan semangat kepada saya sehingga membuat saya mampu menyelesaikan pendidikan S1

Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2021

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Produksi Biogas Sebagai Energi Alternatif pada Kompor Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dan EM4 (*Effective Microorganism*) dengan Menggunakan Digester Tipe Batch”. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 20 Mei 2025

Penulis,

Ni Luh Wulandari

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Produksi Biogas Sebagai Energi Alternatif pada Kompor Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dan EM4 (Effective Microorganism) dengan Menggunakan Digester Tipe Batch”**. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang dihadapi, namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Bapak Muhaini dan Ibu Siti Maryani, terima kasih atas usaha, tetesan keringat dan doa yang selalu menyertai setiap langkah penulis, terima kasih selalu mengajarkan penulis arti kata bersyukur atas segala hal yang sudah tuhan berikan. Kepada ayah penulis, terima kasih atas segala kerja dan usaha yang di berikan untuk penulis sampai di tahap ini
2. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi serta arahan dalam proses penyusunan skripsi
3. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi serta arahan dalam proses penyusunan skripsi
4. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik
5. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung
6. Bapak Arif Surtono S.Si. M.Si. M.Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung
8. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung
9. Para Tenaga Kependidikan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis
10. Nih Luh Lintang Sari dan Bintang Sadewa sebagai adik-adik saya yang selalu menghibur saya selama proses pembuatan skripsi yang cukup lelah ini, terima kasih adikku yang sudah memberikan semangat untuk penulis hingga sampai di titik ini
11. Bapak Misno dan Ibu Sularsih yang telah dengan tulus memberikan izin untuk menggunakan rumahnya sebagai lokasi penelitian dalam skripsi ini
12. Bapak Ladis Tarius selaku medik veteriner yang sudah merekomendasikan tempat penelitian dalam skripsi ini
13. *All member Neo Culture Technology (NCT) for being my never-ending source of my happiness, I will never forget how grateful I was when they saved me for drowning myself in tears*
14. Wafiq Rizki Azizah dan Lika Sabrina Nurrahma yang sudah saya anggap seperti saudara sendiri terima kasih sudah menjadi *support system* terbaik. Terima kasih selalu memberikan dukungan positif. Terima kasih tidak pernah meninggalkan penulis sendirian, selalu menjadi garda terdepan saat penulis membutuhkan bantuan serta selalu mendengarkan keluh kesah penulis selama menyelesaikan studi
15. Zerima Ratu Salma dan Ratna Marliana yang telah menemani penulis saat penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan lancar
16. Matahari Suhaimi yang menjadi pendengar yang baik untuk penulis serta orang yang selalu memberikan semangat dan meyakinkan penulis bahwa segala masalah yang dihadapi selama proses penyusunan skripsi ini akan berakhir
17. Zufa Eka Matusya'diyyah dan Mellynda Susiana selaku sahabat penulis yang senantiasa menemani penulis dalam keadaan sulit dan senang, memberikan dukungan serta motivasi dan memberikan doa setiap langkah penulis lalui sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan lancar

18. Anisatul Mahmudah dan Anis Widya yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penulis selama menyelesaikan studi
19. Teman-teman Fisika angkatan 2021 yang telah bersama-sama menjalani perkuliahan dan telah memberikan doa serta motivasi pembelajaran kehidupan kepada penulis
20. Terakhir, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada satu sosok yang selama ini diam-diam berjuang tanpa henti, anak perempuan sederhana dengan impian yang sangat besar namun sering kali sulit ditebak isi pikiran dan hatinya. Terima kasih kepada penulis skripsi ini, Ni Luh Wulandari. Terima kasih telah turut hadir di dunia ini, telah bertahan sejauh ini, dan terus berjalan melewati segala tantangan yang semesta hadirkan. Terima kasih karena tetap menjadi dirimu sendiri. Aku bangga atas setiap langkah kecil yang kau ambil, aku bangga atas semua pencapaianmu yang mungkin tidak selalu dirayakan oleh orang lain, tetaplah belajar menerima dan mensyukuri apapun yang kamu dapatkan. Walaupun terkadang harapanmu tidak sesuai dengan apa yang semesta berikan, tetaplah belajar menerima dan mensyukuri apapun yang kamu dapatkan. Jangan pernah lelah untuk tetap berusaha, berbahagialah dimanapun kamu berada.

Bandar Lampung, 20 Mei 2025

Penulis,

Ni Luh Wulandari

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL	xx

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Biogas.....	9
2.3 Komposisi Biogas	10
2.4 <i>Effective Microorganisms</i> (EM4).....	11
2.5 Digester Tipe Batch.....	12
2.6 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	14

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Prosedur Penelitian.....	16
3.3.1 Rancangan Percobaan	18
3.3.2 Gambaran Percobaan	18
3.3.3 Persiapan Digester.....	19
3.3.4 Pembuatan Campuran Kotoran Sapi dan EM4	20
3.3.5 Pengujian Laju Pembentukan Biogas.....	20
3.3.6 Pengujian Nyala Api	22
3.3.7 Pengujian <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	23

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Produksi Biogas.....	24
4.2 Analisis Produksi Biogas	27
4.2.1 Efisiensi Produksi Biogas	28
4.2.2 Volume Biogas yang Dihasilkan.....	33
4.2.3 Pengaruh Dosis EM4 terhadap Produksi Biogas	34
4.3 Uji Nyala Api	37

4.3.1 Kualitas Nyala Api dan Hubungan dengan Kandungan Metana	38
4.3.2 Perbandingan dengan sumber alternatif lainnya (Gas LPG).....	41
4.4 Uji <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	41
4.4.1 Hasil Uji COD.....	42
4.4.2 Pengaruh Penambahan EM4 terhadap Penurunan COD.....	45
4.4.3 Korelasi antara COD dan Volume Biogas	46
4.4.4 Implikasi Penurunan COD Terhadap Kualitas Limbah dan Potensi Energi Biogas	48
 V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan	50
5.2 Saran.....	50
 DAFTAR PUSTAKA	52
 LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Effective Microorganism 4	12
Gambar 2.2 Digester Tipe Batch Sederhana	13
Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian	17
Gambar 3.2 Skema Proses Pembuatan Biogas	19
Gambar 3.3 Contoh Grafik Pengaruh EM4 Terhadap Produksi Biogas	22
Gambar 4.1 Proses Aktivasi Bakteri EM4.....	24
Gambar 4.2 Pencampuran larutan gula dan EM4 ke kotoran sapi	25
Gambar 4.3 Sistem <i>Water Trap</i>	26
Gambar 4.4 Metode <i>Displacement Water</i>	27
Gambar 4.5 Pengukuran Volume Air yang Tergeser oleh Gas	28
Gambar 4.6 Volume Biogas Tanpa EM4	29
Gambar 4.7 Volume Biogas dengan EM4 250 ml	30
Gambar 4.8 Volume Biogas dengan EM4 500 ml	31
Gambar 4.9 Volume Biogas dengan EM4 1000 ml	32
Gambar 4.10 Grafik Volume Biogas Harian	34

Gambar 4.11 Perbandingan Volume Biogas dengan Variasi Tanpa EM4 dan dengan EM4.....	35
Gambar 4.12 Nyala Api dari Biogas Tanpa EM4	39
Gambar 4.13 Nyala Api dari Biogas dengan EM4 250 ml.....	39
Gambar 4.14 Nyala Api dari Biogas dengan EM4 500 ml.....	40
Gambar 4.15 Nyala Api dari Biogas dengan EM4 1000 ml.....	40
Gambar 4.16 Perbandingan Kadar COD pada Produksi Biogas	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Alat-alat penelitian	15
Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian	16
Tabel 3.3 Variasi Campuran Biogas.....	20
Tabel 3.4 Produksi Biogas Tanpa EM4.....	21
Tabel 3.5 Produksi Biogas dengan EM4 250 mL	21
Tabel 3.6 Produksi Biogas dengan EM4 500 mL	22
Tabel 3.7 Produksi Biogas dengan EM4 1000 mL	22
Tabel 3.8 Data Pengujian Nyala Api.....	23
Tabel 4.1 Jumlah Produksi Biogas	28
Tabel 4.2 Hasil Uji Nyala Api pada Produksi Biogas dari Kotoran Sapi.....	37

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara merupakan sumber energi utama di Indonesia, namun berbahaya bagi lingkungan karena menyebabkan polusi udara, emisi gas rumah kaca, dan pemanasan global (Shitophyta *et al.*, 2022). Kebutuhan energi untuk kehidupan sehari-hari semakin hari semakin meningkat terutama untuk keperluan rumah tangga seperti memasak dan penerangan sehingga sumber energi fosil yang tersedia semakin menipis. Hal ini mendorong pemerintah untuk meminta masyarakat bekerja sama dalam menyelesaikan masalah dalam mengatasi minimnya sumber energi. Kandungan energi biogas adalah 1 m³ biogas, yang setara dengan 0,6 liter sampai 0,8 liter minyak tanah (Vilino *et al.*, 2022).

Pada 2011, BP Migas memperkirakan potensi cadangan minyak di Indonesia hanya akan bertahan sampai 12 tahun, sedangkan untuk gas hanya akan bertahan sampai 46 tahun. Hal ini mendorong dikeluarkannya kebijakan pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dan peningkatan penggunaan energi terbarukan yang dituangkan dalam bentuk sasaran (primer) Energi Mix Nasional tahun 2025. Salah satu upaya yang dilakukan untuk memenuhi target tersebut adalah memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi terbarukan (Shitophyta *et al.*, 2022).

Pemanfaatan energi terbarukan akan membantu masyarakat untuk memenuhi kebutuhan energi dengan biaya rendah (Soeprijanto, 2017). Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang menggunakan limbah organik sebagai bahan baku

karena mengandung unsur karbon, hidrogen dan nitrogen (Shitophyta *et al.*, 2022). Proses produksi biogas dipengaruhi beberapa faktor, antara lain: suhu, pH, substrat, pengadukan dan starter. Produksi biogas membutuhkan reaktor (*digester*) yang tertutup rapat dan kedap udara agar proses produksi biogas optimal. Komposisi biogas bervariasi terdiri dari jenis bahan baku, komposisi masukan, waktu fermentasi dan kapasitas reaktor. Limbah organik yang biasanya digunakan sebagai bahan baku biogas antara lain: limbah sayuran, kotoran ternak dan limbah pertanian (Widyastuti & Suyantara, 2017).

Kotoran ternak khususnya kotoran sapi sering digunakan sebagai bahan dasar produksi biogas karena mengandung bakteri penghasil gas metana yang hidup dalam sistem pencernaan hewan ruminansia. Kehadiran bakteri ini menciptakan lingkungan yang ideal untuk proses fermentasi, sehingga mempercepat produksi biogas (Prayitno, 2018). Bakteri tersebut memerlukan kondisi anaerob untuk bekerja secara optimal dalam menghasilkan gas metana. Penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi terbaik yang mendukung pembentukan biogas secara maksimal (Anugrah *et al.*, 2017).

Mengonversi limbah ternak sapi menjadi biogas adalah solusi ramah lingkungan karena tidak merusak ekosistem, sehingga siklus ekologi tetap terjaga (Ningrum *et al.*, 2019). Kotoran sapi kaya akan selulosa dan nutrisi penting seperti nitrogen, fosfor, serta kalium, yang berperan sebagai bahan baku dalam produksi biogas. Biogas sendiri terutama terdiri atas metana (CH_4) sebesar 55–75%, karbon dioksida (CO_2) sebanyak 25–45%, dan sejumlah kecil gas lainnya. Hal ini menjadikannya salah satu energi alternatif yang mudah diproduksi dalam skala besar dan bersifat terbarukan (Shitophyta *et al.*, 2022).

Biogas merupakan gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan selama fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob. Gas metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dibandingkan dengan karbon dioksida karena bersifat mudah meledak dan menjadi penyebab utama pemanasan global dengan laju 1% per tahun (Shitophyta *et al.*, 2022). Metanogenesis adalah proses produksi

gas metana dengan menggunakan bantuan bakteri Metanogen seperti *Mathanobacterium*, *Mathanobacillus*, *Methanosacaria*, dan *Methanococcus*. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung pada konsentrasi CH₄ (Anugrah *et al.*, 2017).

Biogas memiliki sifat yang dapat dibakar seperti elpiji dan juga berfungsi sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, bahkan dapat digunakan untuk pembangkit listrik (Irawan & Suwanto, 2017). Proses produksi biogas dilakukan dalam biodigester, di mana substrat seperti kotoran ternak dimasukkan ke dalam reaktor anaerob untuk menghasilkan gas setelah periode tertentu. Hampir semua bahan organik dapat diolah menjadi biogas, tetapi sistem biogas sederhana lebih sesuai untuk bahan organik homogen berbentuk padat atau cair. Gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari pembusukan sampah organik dimanfaatkan sebagai bahan bakar, sedangkan karbon dioksida (CO₂) menjadi produk samping (Shitophyta *et al.*, 2022).

Secara alami, pembentukan biogas membutuhkan waktu yang cukup lama karena melibatkan aktivitas mikroorganisme yang terdapat dalam bahan organik yang membusuk. Efisiensi produksi biogas dari kotoran ternak dapat ditingkatkan dengan menambahkan aktivator seperti EM4 (*Effective Microorganism*). EM4 mengandung 90% *Lactobacillus sp.* yang memproduksi asam laktat untuk mempercepat degradasi lignin dan selulosa dalam substrat (Irawan & Suwanto, 2017). Proses kimia pembentukan biogas melibatkan fermentasi anaerob oleh bakteri metanogen yang mengurai karbohidrat, lemak, dan protein. Selain efisien, EM4 mudah diakses di pasaran dan harganya relatif terjangkau, menjadikannya solusi praktis untuk optimasi produksi biogas (Muzakki, 2021). Selain itu, penggunaan EM4 dalam proses fermentasi dapat mempercepat degradasi bahan organik dan meningkatkan efisiensi produksi biogas (Idika & Aimikhe, 2023). EM4 mengandung berbagai mikroorganisme yang dapat meningkatkan aktivitas mikroba dalam proses pencernaan anaerob, sehingga menghasilkan lebih banyak metana dalam waktu yang lebih singkat (Hublin *et al.*, 2014).

Proses produksi biogas dalam digester tipe batch menawarkan keunggulan dalam hal pengelolaan limbah dan efisiensi energi. Digester batch memungkinkan pengolahan bahan baku dalam jumlah besar sekaligus, yang dapat mengurangi biaya operasional dan meningkatkan produktivitas (Lindkvist, 2020). Selain itu, sistem ini juga dapat dioperasikan dengan lebih fleksibel, memungkinkan penyesuaian terhadap variasi bahan baku yang digunakan (Theuerl *et al.*, 2019).

Berkaitan dengan produksi biogas (Sanjaya & Haryanto, 2015) melakukan penelitian mengenai produksi biogas menggunakan campuran kotoran sapi dan kotoran ayam dengan sistem fermentasi anaerob menggunakan digester tipe batch. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi pH, suhu, rasio C/N (*Carbon to Nitrogen Ratio*), volume biogas, dan produktivitas biogas. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa rasio C/N yang optimal dapat meningkatkan laju produksi biogas dan kualitas metana yang dihasilkan sehingga analisis rasio C/N dalam campuran kotoran sapi dan EM4 menjadi krusial untuk memahami dinamika produksi biogas dalam penelitian yang sudah dilakukan. Meskipun uji rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio) umumnya dianggap penting dalam proses dekomposisi, penelitian ini tidak melakukan pengujian tersebut melainkan fokus pada parameter lain yang lebih langsung terkait dengan produksi biogas. Fokus utama beralih pada parameter lain yang lebih langsung terkait dengan hasil produksi biogas yaitu pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) untuk mengetahui kandungan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam biogas.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengeksplorasi lebih dalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas selama 40 hari dari campuran kotoran sapi dan EM4 dengan menggunakan digester tipe batch. Digester tipe batch yang digunakan ditempatkan di bawah permukaan tanah untuk menjaga suhu tetap stabil, sehingga mendukung pertumbuhan bakteri metanogen dan meningkatkan produksi gas metana (Rathod *et al.*, 2018). Parameter yang diukur dalam

penelitian ini mencakup volume gas, lama nyala api biogas yang dihasilkan dan pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana volume gas yang dihasilkan selama proses fermentasi biogas dari campuran kotoran sapi dan EM4 dalam digester tipe batch?
2. Bagaimana nyala api yang dihasilkan dari pembakaran biogas untuk mengetahui potensi biogas sebagai energi alternatif?
3. Bagaimana nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah cair sisa proses fermentasi untuk menilai tingkat pencemaran serta efektivitas penguraian bahan organik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui volume gas yang dihasilkan selama proses fermentasi biogas dari campuran kotoran sapi dan EM4 dalam digester tipe batch
2. Menganalisis nyala api yang dihasilkan dari pembakaran biogas untuk mengetahui potensi biogas sebagai energi alternatif
3. Mengukur nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah cair sisa proses fermentasi untuk menilai tingkat pencemaran serta efektivitas penguraian bahan organik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk dapat berkontribusi pada upaya pengembangan energi terbarukan melalui pemanfaatan limbah kotoran sapi sebagai sumber biogas yang dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan diharapkan memberikan data terkait nilai COD dari limbah sisa proses fermentasi yang berguna untuk pengelolaan limbah dan penerapan praktik pertanian berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian hanya menggunakan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas dan dicampur dengan EM4 sebagai aktivator
2. Penelitian ini menggunakan digester tipe batch yang diletakkan di bawah tanah dengan kedalaman 1 meter
3. Pengamatan hanya dilakukan selama 40 hari yang mungkin tidak mencakup seluruh siklus fermentasi yang lebih panjang
4. Penelitian ini hanya mengukur volume, nyala api dan pengujian COD (*Chemical Oxygen Demand*) untuk menilai kualitas air limbah sisa dari proses pembuatan biogas
5. Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini adalah EM4 dan tidak menguji dengan aktivator mikroorganisme lain
6. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium atau skala kecil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Adapun penelitian yang berhubungan dengan topik penelitian ini yang dijadikan sebagai perbandingan dengan penelitian yang sudah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan oleh (Irawan & Suwanto, 2017) tentang pengaruh variasi konsentrasi EM4 terhadap produksi biogas dari kotoran sapi. Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan EM4 (*Effective Microorganism*) terhadap produksi biogas dari kotoran sapi, yang kaya akan bakteri penghasil metana. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan EM4 dapat mempercepat proses fermentasi, sehingga menghasilkan biogas dengan kualitas dan kuantitas yang lebih baik. Variasi komposisi campuran kotoran sapi dengan EM4 juga berpengaruh signifikan terhadap hasil biogas yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, penambahan EM4 dalam variasi 8%, 9%, dan 10% menunjukkan bahwa meskipun EM4 10% menghasilkan massa biogas tertinggi, tekanan tertinggi dicapai dengan penambahan EM4 8%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Wicaksono *et al.*, 2019) yang menyoroti bagaimana EM4 dapat mempercepat proses fermentasi sehingga dapat meningkatkan produksi biogas. Penelitian ini menyelidiki pengaruh penambahan EM4 (*Effective Microorganism 4*) terhadap kualitas biogas yang dihasilkan dari kotoran sapi menggunakan sistem batch dalam digester dome tetap. Penelitian ini melibatkan dua variasi, yaitu satu dengan 3 liter EM4 dan satu lagi dengan 1,5 liter, keduanya dicampur dengan 50 kg kotoran sapi dan 50 liter air. Hasil utama

menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan dengan 3 liter EM4 memiliki kandungan metana sebesar 53,6%, sedangkan biogas dengan 1,5 liter EM4 memiliki kandungan metana 46,8%. Uji pembakaran menunjukkan bahwa biogas dengan 3 liter EM4 menghasilkan nyala api kuning kebiruan yang bertahan selama 56 detik, dibandingkan dengan nyala kuning yang hanya bertahan 34 detik untuk biogas dengan 1,5 liter EM4. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan EM4 berpengaruh positif terhadap kandungan metana dalam biogas, serta mengurangi tingkat karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S). Secara keseluruhan, penelitian ini menyoroti potensi EM4 untuk meningkatkan produksi biogas dari limbah organik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Fidela *et al.*, 2024) yang berjudul Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan. Pada penelitian ini menggunakan kotoran sapi sebagai bahan baku untuk produksi biogas melalui proses fermentasi anaerobik yang bertujuan untuk mengendalikan limbah peternakan dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Pada penelitian ini faktor-faktor seperti temperature, tingkat keasaman dan kualitas bahan organik berpengaruh pada hasil biogas dengan hasil yang menunjukkan bahwa semakin lama proses fermentasi, semakin baik kualitas dan kuantitas gas yang dihasilkan.

Penelitian yang dilakukan (Sanjaya & Haryanto, 2015) yang membahas tentang produksi biogas menggunakan campuran kotoran sapi dan kotoran ayam dengan sistem fermentasi anaerob menggunakan digester tipe batch. Pada penelitian ini parameter yang diukur meliputi pH, suhu, rasio C/N, volume biogas, dan produktivitas biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi campuran terbaik adalah 50% kotoran sapi dan 50% kotoran ayam, menghasilkan volume biogas tertinggi sebesar 35.690 mL dengan produktivitas sebesar 0,33 liter per gram bahan organik yang terdegradasi. Rasio C/N optimum pada campuran ini mendukung efisiensi proses fermentasi. Pengujian nyala api juga menunjukkan hasil positif, dengan gas metana yang dihasilkan dapat terbakar dan menghasilkan api biru, menandakan potensi biogas sebagai energi alternatif.

Penelitian yang dilakukan (Shitophyta *et al.*, 2022) yang membahas tentang penggunaan kotoran sapi dalam produksi biogas dengan dua jenis digester yaitu batch dan kontinyu. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan volume biogas serta kandungan metana yang dihasilkan dari kedua tipe digester tersebut. Digester kontinyu diisi dengan kotoran sapi dan limbah makanan secara berkala, mempertahankan volume tertentu untuk ruang gas. Hasilnya, digester kontinyu menghasilkan 17.520 l biogas dengan kandungan metana sebesar 51,37%. Sebaliknya, digester batch yang menggunakan campuran kotoran sapi dan rumput gajah menghasilkan volume biogas lebih tinggi, yaitu 66.484 l, tetapi dengan kandungan metana yang lebih rendah (31,37%). Uji nyala api menunjukkan bahwa biogas dari digester kontinyu mampu menghasilkan api biru, sedangkan digester batch tidak, karena kandungan metana yang terlalu rendah untuk mencapai titik pembakaran yang stabil. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa meskipun digester batch menghasilkan volume biogas lebih besar, digester kontinyu menghasilkan biogas dengan kualitas metana lebih baik.

2.2 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi langka oksigen (anaerob). Komponen biogas: $\pm 60\%$ CH_4 (metana), $\pm 38\%$ CO_2 (karbondioksida), $\pm 2\%$ N_2 , O_2 , H_2 , dan H_2S . Biogas dapat dibakar seperti elpiji, dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan. Biogas yang didominasi oleh gas metana, merupakan gas yang dapat dibakar. Metana secara luas diproduksi di permukaan bumi oleh bakteri pembusuk dengan cara menguraikan bahan organik. Bakteri metanogenesis berperan dalam pembusukan. Bakteri ini terdapat di rawa rawa, lumpur sungai, sumber air panas (*hot spring*), dan perut hewan herbivora seperti sapi dan domba. Hewan-hewan ini tidak dapat memproses rumput yang mereka makan, bila tidak ada bakteri anaerob yang memecah selulosa di dalam

rumput menjadi molekul-molekul yang dapat diserap oleh perut mereka. Gas yang diproduksi oleh bakteri ini adalah gas metana (Irawan & Suwanto, 2017).

Proses pembentukan biogas melibatkan beberapa tahap, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis, di mana setiap tahap melibatkan mikroorganisme tertentu dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, pH, dan rasio bahan baku. Dalam penelitian oleh (Nizami *et al.*, 2020), dijelaskan bahwa pemilihan bahan baku yang tepat dan pengelolaan kondisi fermentasi yang optimal sangat penting untuk meningkatkan efisiensi produksi biogas. Mereka juga menekankan bahwa biogas dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, seperti memasak, penerangan, dan pembangkit listrik, sehingga berkontribusi terhadap keberlanjutan energi.

Dalam konteks pengembangan biogas, menggunakan kotoran sapi sebagai bahan baku telah terbukti efektif. Penelitian di berbagai daerah menunjukkan bahwa pengolahan kotoran sapi tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga memberikan solusi bagi kebutuhan energi masyarakat (Mukaromah *et al.*, 2023). Misalnya, di Desa Sambongrejo, pengolahan kotoran sapi menjadi biogas telah memberikan manfaat ekonomi bagi peternak dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Mukaromah *et al.*, 2023). Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa kombinasi kotoran sapi dengan bahan organik lainnya, seperti limbah pertanian, dapat meningkatkan volume dan kualitas biogas yang dihasilkan (Anggono *et al.*, 2023).

2.3 Komposisi Biogas

Biogas sebagai sumber energi terbarukan telah memperoleh perhatian yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir khususnya dalam konteks pemanfaatan limbah pertanian seperti kotoran sapi. Komposisi biogas terutama dipengaruhi oleh jenis substrat yang digunakan dalam produksinya. Kotoran sapi, yang dikenal karena kandungan mikrobanya yang kaya, berfungsi sebagai substrat yang efektif untuk produksi biogas jika dikombinasikan dengan aditif seperti *Effective*

Microorganism (EM4). Penelitian menunjukkan bahwa penambahan EM4 dapat meningkatkan proses pencernaan anaerobik, yang mengarah pada peningkatan hasil biogas. Misalnya, sebuah penelitian menunjukkan bahwa penggabungan EM4 ke dalam kotoran sapi secara signifikan meningkatkan produksi biogas, yang menyoroti efek sinergis dari aktivitas mikroba dalam proses pencernaan (Irawan & Suwanto, 2017).

Komposisi substrat yang optimal sangat penting untuk memaksimalkan produksi biogas. Berbagai penelitian telah mengeksplorasi efek dari berbagai rasio kotoran sapi dan bahan organik lainnya. Misalnya, sebuah penelitian menemukan bahwa campuran kotoran sapi dan rumput gajah menghasilkan produksi biogas tertinggi pada rasio tertentu, yang menekankan pentingnya rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) dalam proses fermentasi (Yahya *et al.*, 2018). Selain itu, penggunaan limbah sayuran bersama kotoran sapi telah terbukti lebih meningkatkan produksi biogas, karena bahan-bahan ini memberikan nutrisi tambahan dan memperbaiki lingkungan mikroba secara keseluruhan di dalam digester (Widyastuti & Suyantara, 2017).

2.4 *Effective Microorganisms* (EM4)

Effective Microorganisms (EM4) merupakan konsorsium mikroorganisme yang terdiri dari bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, ragi, actinomycetes, dan jamur peragian yang berperan penting dalam proses fermentasi anaerob untuk produksi biogas. Dalam konteks biogas, EM4 digunakan sebagai inokulan yang mempercepat dekomposisi bahan organik sehingga meningkatkan efisiensi produksi gas metana. Kandungan utama dari EM4 terdiri dari 90% *Lactobacillus Sp* ini memproduksi asam laktat yang dapat mempercepat perombakan bahan organik seperti lignin dan selulosa dalam bahan baku organik termasuk kotoran sapi sehingga memudahkan akses bagi mikroorganisme lain untuk melakukan fermentasi lanjut (Irawan & Suwanto, 2017).



Gambar 2.1 Effective Microorganism 4

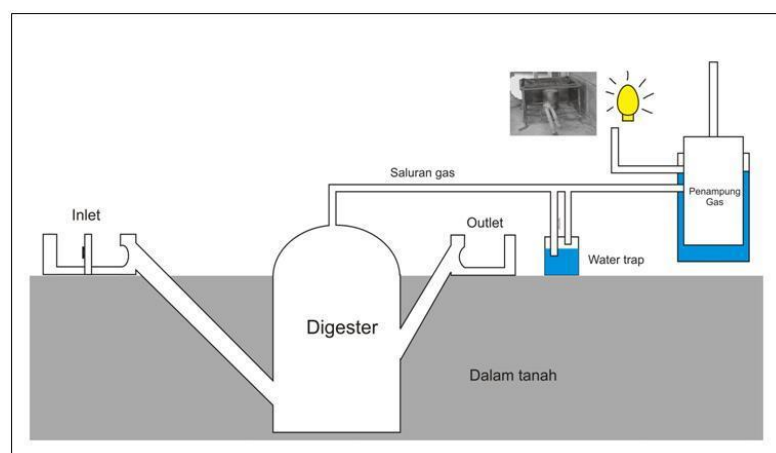
Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan EM4 dapat mempercepat proses pembuatan kompos, seperti yang dibuktikan oleh penelitian yang menunjukkan bahwa kompos yang dihasilkan dengan EM4 dapat digunakan dalam waktu 20 hari, jauh lebih cepat dibandingkan metode konvensional (Ekawandani & Kusuma, 2018). Selain itu, EM4 juga terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pupuk kandang, yang berkontribusi pada pertumbuhan tanaman yang lebih baik (Achmad, 2021). Selain itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa rasio campuran yang tepat antara kotoran sapi dan EM4 dapat menghasilkan volume biogas yang optimal, dengan hasil yang menunjukkan peningkatan produksi biogas yang signifikan (Sasmita *et al.*, 2022).

Penerapan EM4 tidak hanya terbatas pada produksi biogas, tetapi juga dapat digunakan dalam pengelolaan limbah organik secara lebih luas. Misalnya, penelitian oleh Mudayana menunjukkan bahwa EM4 dapat digunakan dalam pembuatan pupuk kompos dari limbah organik rumah tangga, yang tidak hanya mengurangi limbah tetapi juga menghasilkan pupuk yang berkualitas (Mudayana *et al.*, 2023). Dengan demikian, EM4 berfungsi sebagai bioaktivator yang tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi biogas tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan.

2.5 Digester Tipe Batch

Digester tipe batch merupakan jenis reaktor biogas yang bekerja secara anaerob dengan metode pengisian substrat yang dilakukan hanya satu kali untuk setiap

siklus produksi. Setelah diisi, proses fermentasi berlangsung tanpa ada penambahan substrat baru hingga produksi biogas mencapai maksimal. Jenis digester ini sering digunakan dalam penelitian karena desainnya yang sederhana dan biaya operasional yang relatif rendah, sehingga ideal untuk skala kecil atau percobaan laboratorium (Haryanto *et al.*, 2018). Pada sistem ini, substrat seperti kotoran sapi mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme selama periode tertentu, menghasilkan gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif.



Gambar 2.2 Digester Tipe Batch Sederhana (Yogiswara & Dewanto, 2017)

Salah satu keuntungan utama dari digester tipe batch adalah kemudahan dalam pengoperasian dan pengelolaan, karena semua bahan baku dimasukkan sekaligus dan tidak memerlukan aliran masuk dan keluar yang terus menerus. Hal ini memungkinkan pengendalian yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan di dalam digester, seperti pH dan suhu, yang sangat penting untuk aktivitas mikroorganisme penghasil biogas (Meegoda *et al.*, 2018). Penelitian menunjukkan bahwa parameter seperti suhu dan waktu retensi hidrolis (HRT) sangat mempengaruhi efisiensi produksi biogas. Misalnya, suhu optimal untuk aktivitas metanogenik biasanya berkisar antara 30°C hingga 40°C, di mana kondisi ini mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi (Benali *et al.*, 2019).

2.6 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan salah satu metode penting dalam analisis kualitas air, khususnya dalam konteks produksi biogas dari kotoran sapi dan campuran lainnya. COD mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air, yang merupakan indikator penting dalam menilai potensi pencemaran dan efisiensi proses anaerobik dalam produksi biogas. Pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) juga merupakan parameter penting dalam analisis produksi biogas. COD mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air, dan dapat memberikan indikasi tentang potensi biodegradabilitas bahan tersebut. Penelitian menunjukkan bahwa nilai COD yang tinggi berkorelasi dengan potensi produksi biogas yang lebih besar, karena menunjukkan bahwa lebih banyak bahan organik yang tersedia untuk diubah menjadi biogas (Hagman *et al.*, 2018). Penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan *et al.*, 2022) metode uji COD yang diterapkan menunjukkan linearitas yang baik untuk konsentrasi rendah dan tinggi, dengan sensitivitas yang memadai, sehingga dapat digunakan untuk memantau kualitas air dalam sistem pencernaan anaerobik. Hasil ini penting untuk memastikan bahwa proses produksi biogas tidak hanya efisien tetapi juga ramah lingkungan.

Dalam konteks produksi biogas dari kotoran sapi dan EM4, penting untuk mempertimbangkan pengaruh waktu retensi hidrolis (HRT) terhadap hasil biogas. Penelitian (Haryanto *et al.*, 2018) menunjukkan bahwa variasi HRT dapat mempengaruhi pH, suhu, dan hasil biogas, yang semuanya dapat diukur melalui pengujian COD. Penelitian ini menegaskan bahwa pengujian COD dapat memberikan informasi yang berharga untuk mengoptimalkan kondisi operasional dalam proses produksi biogas. Selain itu, sistem produksi biogas melibatkan berbagai substrat dan teknologi, di mana pengujian COD dapat membantu dalam pemilihan substrat yang tepat untuk meningkatkan efisiensi produksi.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada Desember 2024 sampai Januari 2025 di Desa Campang Kecamatan Gisting Kabupaten Tanggamus. Analisis sampel dilaksanakan di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT), Universitas Lampung, Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Alat-alat penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	Selang dan Pipa	Untuk mengalirkan gas biogas dari digester ke kompor gas
2.	Kompor	Untuk menguji nyala api biogas yang dihasilkan
3.	Digester	Sebagai reaktor untuk proses fermentasi dalam pembuatan biogas
4.	Pengaduk manual	Untuk mengaduk campuran kotoran sapi dan EM4 secara merata sebelum dimasukkan ke dalam digester
5.	Gelas Ukur	Untuk mengukur volume air dan EM4 yang akan dicampurkan sebelum fermentasi
6.	Stopwatch	Untuk mengukur lama nyala api biogas saat diuji pada kompor biogas
7.	Balon	Untuk mengukur volume gas yang dihasilkan dalam digester selama proses fermentasi

Daftar pada **Tabel 3.2** menunjukkan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	Kotoran sapi	Sebagai bahan utama untuk produksi biogas
2.	Air	Sebagai pelarut untuk mencampur kotoran sapi agar lebih mudah difermentasi
3.	EM4 (<i>Effective Microorganisms</i>)	Sebagai starter atau inokulum untuk mempercepat fermentasi
4.	Pupuk Organik	Hasil sampingan dari produksi biogas yang digunakan sebagai pupuk organik setelah proses fermentasi, pupuk organik ini akan diuji untuk nilai COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>) untuk mengetahui kandungan bahan organik yang tersisa

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan untuk melakukan pengukuran parameter yang dibutuhkan pada pembuatan biogas. Diagram alir yang menggambarkan tahap-tahap penyelesaian penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur dari berbagai sumber seperti jurnal, buku ataupun sumber lain, studi literatur dilakukan sebagai dasar dalam melakukan penelitian dan juga penulisan laporan yang dilakukan. Setelah memahami dasar teori dan hasil penelitian sebelumnya, selanjutnya adalah merancang eksperimen dengan menentukan variabel yang akan diuji termasuk rasio campuran kotoran sapi dan EM4 serta waktu retensi dalam digester. Selanjutnya persiapan alat dan bahan dengan menyiapkan digester tipe batch, kompor biogas dan bahan utamanya seperti kotoran sapi segar dan EM4.



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

Setelah alat dan bahan siap, pembuatan campuran dilakukan dengan menimbang kotoran sapi dan EM4 sesuai dengan perlakuan yang ditentukan kemudian mencampurkannya dengan air untuk mencapai konsistensi yang diinginkan. Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam digester tipe batch yang harus ditutup rapat untuk menjaga kondisi anaerobik. Selama proses fermentasi pengukuran volume biogas perlu dicatat setiap hari dengan menggunakan flow meter serta mengambil sampel untuk pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada interval waktu tertentu untuk menilai efektivitas pencernaan.

Setelah periode fermentasi selesai, data yang diperoleh dianalisis untuk menghitung rata-rata produksi biogas dan perubahan nilai COD untuk masing-masing perlakuan. Analisis statistik dilakukan untuk menentukan signifikansi perbedaan antara perlakuan yang diuji. Hasil analisis kemudian dievaluasi dan didiskusikan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas, serta untuk menarik kesimpulan mengenai efektivitas campuran kotoran sapi dan EM4.

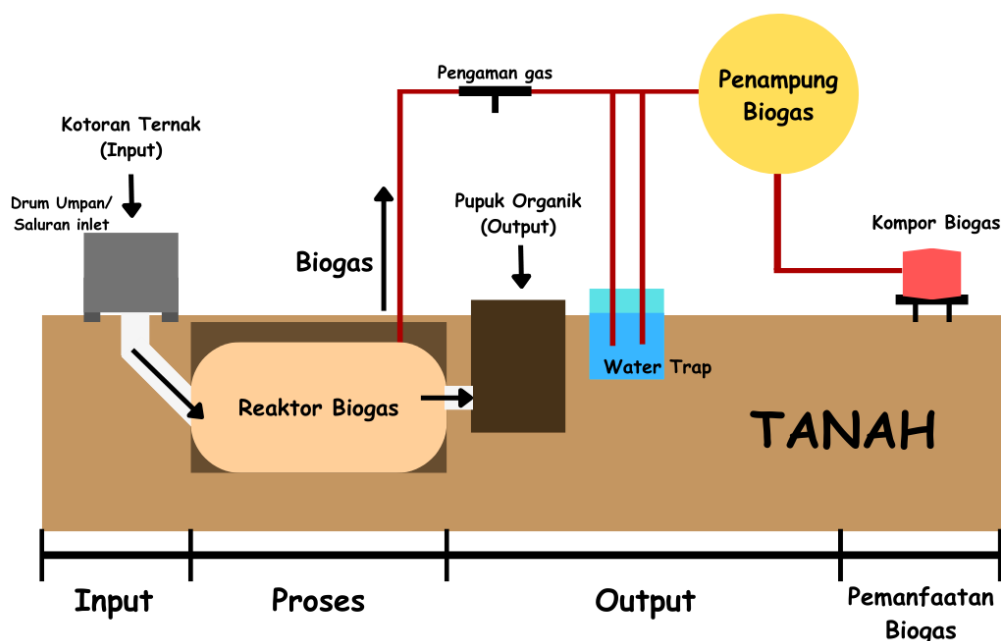
3.3.1 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan ini yang menjadi objek sekaligus implementasi dari pengambilan data pada penelitian ini. Peneliti merancang percobaan dengan menentukan variabel yang akan diuji seperti rasio kotoran sapi dan EM4 serta kondisi digester termasuk waktu saat fermentasi. Peneliti kemudian menyiapkan digester tipe batch yang sesuai dan memastikan semua alat dalam keadaan steril untuk mencegah kontaminasi. Perancangan percobaan dimulai dengan pengisian digester dengan campuran kotoran sapi dan EM4 dalam proporsi yang telah ditentukan dan diikuti dengan penutupan rapat untuk menjaga kondisi anaerob.

3.3.2 Gambaran Percobaan

Berdasarkan Gambar 3.2, proses pembuatan biogas diawali dengan mencampur bahan baku di dalam ember yang bersih dan memastikan bahwa campuran tersebut homogen untuk memaksimalkan efisiensi fermentasi. Selanjutnya campuran tersebut dimasukkan ke dalam reaktor melalui saluran inlet yang

dirancang untuk memudahkan pengisian bahan baku ke reaktor dan memastikan bahwa campuran dapat dimasukkan dengan efisien tanpa kontaminasi. Setelah bahan campuran berada di dalam reaktor, proses fermentasi anaerob dimulai di mana mikroorganisme dalam EM4 akan menguraikan bahan organik dan menghasilkan biogas. Selanjutnya biogas yang dihasilkan akan mengalir melalui saluran gas yang terhubung dengan reaktor seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2** dimana gas yang dihasilkan akan disimpan di penampungan gas sebelum digunakan. Pada gambar juga menunjukkan sistem aliran biogas yang terhubung ke kompor biogas di mana biogas yang dihasilkan akan digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk memasak.



Gambar 3.2 Skema Proses Pembuatan Biogas

3.3.3 Persiapan Digester

Pada proses ini hal yang pertama dilakukan adalah dengan melakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap kondisi fisik dan fungsional digester yang telah ada. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada kebocoran pada saluran dan sambungan biogas dan memeriksa kebersihan interior digester untuk menghindari kontaminasi yang dapat mempengaruhi proses fermentasi. Pada proses ini juga dilakukan pemeriksaan untuk sistem inlet dan outlet untuk

memastikan bahwa saluran untuk memasukkan bahan baku dan mengeluarkan digestat berfungsi dengan baik. Setelah semua pemeriksaan dan persiapan selesai, digester siap diisi dengan campuran kotoran sapi dan EM4 dan proses fermentasi dapat dimulai.

3.3.4 Pembuatan Campuran Kotoran Sapi dan EM4

Pembuatan campuran kotoran sapi dan EM4 ini merupakan langkah yang penting. Kotoran sapi yang digunakan harus dalam kondisi segar dan bebas dari kontaminasi, sehingga kualitas biogas yang dihasilkan dapat optimal. Variasi EM4 yang digunakan dalam pembuatan biogas dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Variasi Campuran Biogas

No.	Variasi EM4 (ml)	Massa Kotoran Sapi (kg)
1.	0	10
2.	250	10
3.	500	10
4.	1000	10

Proses pencampuran dilakukan dengan cara mencampurkan kotoran sapi dengan EM4 dalam wadah bersih, diaduk secara merata untuk memastikan distribusi EM4 yang homogen dalam kotoran sapi. Selain itu, pada tahap ini juga perlu menambahkan air dalam jumlah yang sesuai untuk mencapai konsistensi yang diinginkan, sehingga memudahkan proses fermentasi dalam digester. Setelah campuran siap, dilakukan pengujian awal untuk memastikan pH dan kelembaban berada dalam rentang yang optimal untuk fermentasi anaerob. Campuran ini kemudian siap untuk dimasukkan ke dalam digester tipe batch, di mana proses produksi biogas akan dilakukan.

3.3.5 Pengujian Laju Pembentukan Biogas

Produksi biogas diambil setelah hari ke-3 dengan volume biogas pada setiap periode waktu pengukuran. Volume yang terbentuk tiap harinya dicatat pada **Tabel 3.4** sampai **Tabel 3.7** dan dibuat grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**. Dari grafik tersebut dapat dilihat volume biogas yang dihasilkan oleh tiap

reaktor. Pengukuran dilakukan dengan cara volume gas yang terbentuk tiap harinya akan diukur dengan menghitung volume gas yang ditampung pada balon udara, setelah itu balon udara tersebut dimasukkan ke dalam bak penuh air. Jumlah air yang keluar dari bak tersebut diukur volumenya dengan asumsi bahwa volume air yang keluar sama dengan volume gas yang ada pada balon udara tersebut. Setelah diperoleh data volume maka dalam satu hari volume biogas dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Laju rata - rata } \frac{ml}{hari} = \frac{\text{Vol. Sample balon udara (ml)}}{\text{Waktu (Hari)}} \quad (3.1)$$

Hasil lalu dicatat dan dibuat grafik, apabila grafik sudah menunjukkan tidak adanya penambahan volume biogas berarti proses pembentukan biogas telah selesai.

Tabel 3.4 Produksi Biogas Tanpa EM4

Hari	Volume (l)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Tabel 3.5 Produksi Biogas dengan EM4 250 mL

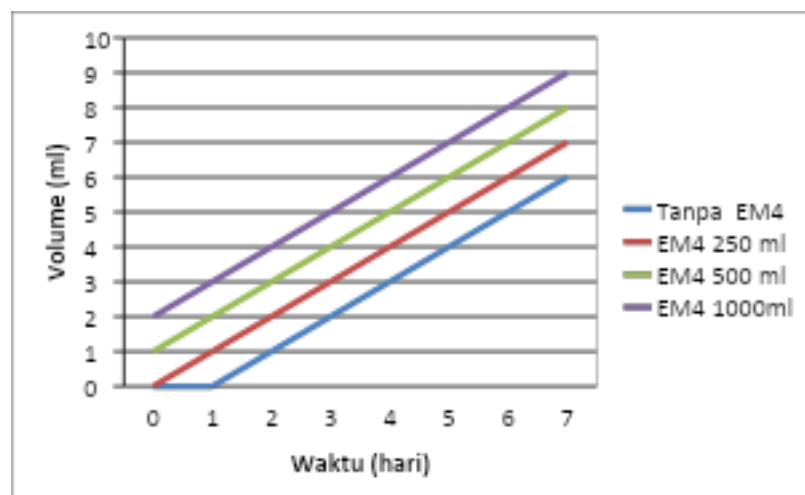
Hari	Volume (l)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Tabel 3.6 Produksi Biogas dengan EM4 500 mL

Hari	Volume (l)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Tabel 3.7 Produksi Biogas dengan EM4 1000 mL

Hari	Volume (l)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

**Gambar 3.3** Contoh Grafik Pengaruh EM4 Terhadap Produksi Biogas

3.3.6 Pengujian Nyala Api

Proses ini dilakukan saat biogas yang dihasilkan telah cukup untuk di uji. Proses ini diawali dengan pengukuran volume biogas yang akan digunakan pada setiap variasi yang digunakan. Pada proses ini bigas dialirkan ke kompor dan dinyalakan dengan menggunakan korek api yang kemudian dicatat waktu mulai nyala api dan

mengamati lama nyala api yang dihasilkan juga mengukur tinggi api dengan menggunakan penggaris. Data yang diperoleh dari pengujian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.8.**

Tabel 3.8 Data Pengujian Nyala Api

No.	Variasi EM4 (ml)	Massa Kotoran Sapi (kg)	Lama Nyala Api (detik)	Warna Api Biogas	Tinggi Api (cm)
1.	0	10			
2.	250	10			
3.	500	10			
4.	1000	10			

3.3.7 Pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengujian ini dilakukan di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik menjadi karbon dioksida, amonia, dan air. Proses ini diawali dengan pengambilan sampel biogas dari outlet biogas. Sampel yang diambil merupakan air limbah dari sistem fermentasi anaerobik. Setelah pengambilan sampel, sampel biogas harus segera disimpan pada suhu sekitar 4°C untuk menjaga stabilitas komposisi gas dan mencegah perubahan yang dapat disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme atau reaksi kimia. Setelah sampel disimpan selanjutnya sampel akan di analisis kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) di UPT LTSIT Universitas Lampung. Jika dalam analisis menunjukkan kadar COD yang tinggi, maka hal ini menunjukkan adanya bahan organik yang lebih banyak dalam biogas yang dapat memberikan informasi penting tentang potensi energi dan tingkat pencemaran organik dari biogas yang dihasilkan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa volume gas yang dihasilkan selama proses fermentasi biogas dari campuran kotoran sapi dan EM4 dalam digester tipe batch meningkat secara signifikan dengan penambahan EM4, variasi tanpa EM4 menghasilkan volume biogas sebesar 1340 ml pada hari ketujuh, sedangkan variasi dengan penambahan EM4 250 ml, 500 ml, dan 1000 ml masing-masing menghasilkan 2300 ml, 3950 ml, dan 4470 ml.
2. Uji nyala api dari biogas menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan dari variasi dengan penambahan EM4 memiliki kualitas yang lebih baik, nyala api yang dihasilkan dari biogas dengan EM4 menunjukkan warna biru yang stabil menandakan pembakaran yang efisien dan kandungan metana yang tinggi.
3. Hasil pengukuran nilai COD menunjukkan penurunan yang signifikan dari 515 mg/l pada variasi tanpa EM4 menjadi 232 mg/l (EM4 250 ml), 237 mg/l (EM4 500 ml), dan 281 mg/l (EM4 1000 ml), penurunan kadar COD ini mencerminkan efektivitas penguraian bahan organik dan menunjukkan bahwa penambahan EM4 dapat mengurangi tingkat pencemaran pada limbah cair sisa proses fermentasi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut guna menentukan konsentrasi optimal EM4 yang dapat meningkatkan efisiensi fermentasi biogas. Penggunaan variasi substrat lain seperti

campuran kotoran sapi dengan limbah organik lainnya dan penggunaan jenis mikroba selain EM4 dapat dilakukan untuk meningkatkan volume dan kualitas biogas yang dihasilkan. Selain itu, disarankan untuk melakukan pengukuran dan pengendalian suhu lingkungan selama proses fermentasi mengingat suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme penghasil biogas. Dengan memantau suhu secara berkala, proses fermentasi dapat dijaga tetap berada pada kisaran optimal, sehingga volume dan kualitas biogas yang dihasilkan dapat lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhay, A., Albsoul, A., Hadidi, F. & Abuothman, A. 2016. Optimization and Modeling of Biogas Production From Green Waste/Biowaste Co-Digestion Using Leachate and Sludge. *Clean - Soil, Air, Water*, 44(11): 1557–1563.
- Achmad, C.A. 2021. Pengaruh Penambahan Bioaktivator Terhadap Peningkatan Unsur Hara Pupuk Kandang Dan Aplikasinya Pada Pertumbuhan Tanaman Salak Pascaerupsi Merapi. *Life Science*, 10(1): 76–82.
- Ali, A. M, Alam, M.Z., Abdoul-latif, F. M., Jami, M.S., Bouh, I. G., Bello, I. A. & Ainane, T. 2023. Production of Biogas from Food Waste Using the Anaerobic Digestion Process with Biofilm-Based Pretreatment. *Processes*, 11(3).
- Anggono, W., Sutrisno, S., Tanoto, Y., Hernando, I.C., Waskito, C. & Laksana, G.B. 2023. Pemanfaatan Energi Biogas dan Pupuk Organik Berbahan Kotoran Sapi Oleh Peternak Sapi Aditoya Sebagai Energi Alternatif dan Substitusi Kebutuhan Pupuk Pertanian Masyarakat. *Surya Abdimas*, 7(4): 633–640.
- Anugrah, E.T., Nurhasanah & Nurhanisa, M. 2017. Pengaruh pH dalam Produksi Biogas dari Limbah Kecambah Kacang Hijau. *PrismaFisika*, 5(2): 72–76.
- Atandi, E. & Rahman, S. 2012. Prospect of anaerobic co-digestion of dairy manure: a review. *Environmental Technology Reviews*, 1(1): 127–135.
- Awe, O.W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D.P. & Lyczko, N. 2017. A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. *Waste and Biomass Valorization*, 8(2): 267–283.
- Benali, M., Hamad, T. & Hamad, Y. 2019. Experimental Study of Biogas Production from Cow Dung as an Alternative for Fossil Fuels. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 09(03): 91–97.
- Chuanchai, A. & Ramaraj, R. 2018. Sustainability assessment of biogas production from buffalo grass and dung: biogas purification and bio-fertilizer. *3 Biotech*, 8(3): 1–11.

- Ekawandani, N. & Anzi Kusuma, A. 2018. Pengomposan Sampah Organik (Kubis Dan Kulit Pisang) Dengan Menggunakan EM4. *Tedc*, 12(1): 38–43.
- Fidela, W., Ahda, Y., Zhafira, Febriani, Y., Azzahra, Y., P. Ningky, Y., T. Berlian, Regina, K. Sari, J., Ayu, D., D. N. Putri, D. & Fajrina, S. 2024. Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan. *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*, 5(2): 186–192.
- Fitria, K. A., Nurhayati, I. & Joko Sutrisno 2023. Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Fosfat (PO₄-P) Limbah Laundry Menggunakan EM4 dan Mikroalga *Spirulina* sp. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 15(1): 31–44.
- Fitriyah, Q., Irawan, D. & Eko Wahyudi, M.P. 2018. Digester tipe Balon untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas di Peternakan Sei Temiang Batam. *Jurnal Integrasi*, 10(2): 64–67.
- Fuadi, N. 2020. Optimalisasi Pengolahan Limbah Organik Pasar Tradisional Dengan Pemanfaatan Effective Microorganisme₄ (Em₄). *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 14(1): 73–79.
- Hagman, L., Alyssa, B., Mats, E. & Niclas, S. 2018. The Role of Biogas Solutions in Sustainable Biorefineries. *Journal of Cleaner Production*, 172: 3982–3989.
- Haryanto, A., Triyono, S. & Wicaksono, N.H. 2018. Effect of hydraulic retention time on biogas production from cow dung in a semi continuous anaerobic digester. *International Journal of Renewable Energy Development*, 7(2): 93–100.
- Hasan, Y.A., Mardiana, M. & Nama, G.F. 2022. Timotius William Kristianto, Prasetya, V., Purwiyanto, & Supriyono. (2022). Rancang Bangun Sepeda Statis sebagai Pembangkit Listrik Sederhana. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(3).
- Hidayat, W., Pisen, W., Biksono, D., Asri, A. & Putra, Y. 2021. Analisis Optimalisasi Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi Dan Jerami Dengan Menggunakan Energi Termal. *Prosiding Simposium Nasional Multidisiplin (SinaMu)*, 2: 57–63.
- Hidayati, J & Panama, J. 2019. Tinjauan Permintaan Gas Global dan Distribusi LPG di Indonesia: Studi Pustaka. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, 2(3).

- Hidayanti, F., Wati, E.K. & Sumardi, A.H. 2021. Implementation of Automatic Monitoring and Control System in Balloon Digester Type's Biogas Plant from Tofu Waste Using Ultrasonic Distance Sensor. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(4): 1517–1523.
- Hublin, A., Schneider, D.R. & Džodan, J. 2014. Utilization of Biogas Produced by Anaerobic Digestion of Agro-Industrial Waste: Energy, Economic and Environmental Effects. *Waste Management and Research*, 32(7): 1–8.
- Idika, C. & Aimikhe, V.J. 2023. Non-linear Regression Models for Predicting Biogas Yields from Selected Bio-wastes. *Journal of Energy Research and Reviews*, 13(2): 42–55.
- Irawan, D. & Suwanto, E. 2017. Pengaruh Em4 (Effective Microorganisme) Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Kotoran Sapi. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1): 44–49.
- Purba, J. K., Harteman, E. & Veronica, E. 2023. Pengaruh Pemberian Efektivitas Mikroorganisme (Em4) Yang Berbeda Terhadap Kualitas Air Limbah Laundry. *Journal of Tropical Fisheries*, 17(2): 66–73.
- Li, P., Liu, Z., Zhao, M., Dai, X. & Ruan, W. 2020. Evaluation of Biogas Performance and Process Stability from Food, Kitchen, and Fruit/Vegetable Waste by Mono-, Co-, and Tridigestion. *Energy and Fuels*, 34(10): 12734–12742.
- Lindkvist, E. 2020. *Systems studies of Biogas production Comparisons and performance*.
- Meegoda, J.N., Li, B., Patel, K. & Wang, L.B. 2018. A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10).
- Megawati, M. 2014. Pengaruh Penambahan Em4 (Effective Microorganism-4) Pada Pembuatan Biogas Dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2): 42–49.
- Meriatna, M., Suryati, S. & Fahri, A. 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.
- Mudayana, A.A., Diana, P.Z., Ismanto, D., Erviana, V.Y. & Suwartini, I. 2023. Pelatihan Pembuatan Kompos Berbasis Technopreneurship. *Surya Abdimas*, 7(4): 577–584.

- Mukaromah, L.A., Cahyono, E.A., Anam, K., Kurniasih, K. & Putri, S.A. 2023. Pengolahan Pupuk Organik dan Biogas Kotoran Sapi di Desa Sambongrejo Kecamatan Gondang Bojonegoro. *Journal of Research Applications in Community Service*, 2(1): 29–36.
- Muzakki, J.A. 2021. Pengaruh Penambahan Bioaktivator Em-4 Terhadap Produksi Biogas Dari Limbah Cair Industri Tahu. *CERMIN: Jurnal Penelitian*, 5(2): 362.
- Ningrum, S., Supriyadi, S. & Zulkarnain, Z. 2019. Analisis Strategi Pengembangan Biogas Sebagai Energi Alternatif Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Limbah Ternak Kotoran Sapi. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 19(1): 45.
- Nizami, A., Kumar, S., Zafar, A. & Alavi, N. 2020. Biogas Production : A Sustainable Energy Solution. *Energy Reports*, 6: 100–107.
- Prayitno, H.T. 2018. Strategi Pemanfaatan Kotoran Sapi. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK*, 10(1): 43–51.
- Ramadhan, I., Rohyami, Y. & Ahdiaty, R. 2022. Verifikasi Metode Uji COD secara Spektrofotometri UV-Vis untuk Low Concentration dan High Concentration. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 5(1): 52–61.
- Rathod, V.P., Bhale, P. V., Mehta, R.S., Harmani, K., Bilimoria, S., Mahida, A. & Champaneri, H. 2018. Biogas Production from Water Hyacinth in the Batch type Anaerobic Digester. *Materials Today: Proceedings*, 5(11): 23346–23350.
- Ritonga, A.M. & Masrukhi, M. 2017. Optimasi Kandungan Metana (CH₄) Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben. *Rona Teknik Pertanian*, 10(2): 11–22.
- Rustiana, Y., Bekti, M., Kusumastuti, S.A. & Syahromi, C. 2019. Pengolahan Limbah Industri Pengolahan Ikan Dengan Teknologi Gabungan Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)-Wetland. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(1): 123–132.
- Saba, M., Khan, A., Ali, H., Bibi, A., Gul, Z., Khan, A., Rehman, M.M.U., Badshah, M., Hasan, F., Shah, A.A. & Khan, S. 2022. Microbial Pretreatment of Chicken Feather and Its Co-digestion With Rice Husk and Green Grocery Waste for Enhanced Biogas Production. *Frontiers in Microbiology*, 13(4): 1–13.
- Sanjaya, D. & Haryanto, A. 2015. Biogas Production From a Mixture of Cow Manure With Chicken Manure. *Teknik Pertanian Lampung*, 4: 127–136.

- Sasmita, A., Elystia, S. & Mulyadi, R. 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): 117–126.
- Sayara, T. & Sánchez, A. 2019. A review on anaerobic digestion of lignocellulosic wastes: Pretreatments and operational conditions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(21).
- Shitophyta, L.M., Darmawan, M.H. & Rusfidiantoni, Y. 2022. Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(22): 85–90.
- Soeprijanto, S. 2017. Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi Menggunakan Biodigester di Desa Jumpat Kabupaten Bojonegoro. *Sewagati*, 1(1): 17.
- Sumantri, I., Kusnadi, P., Handoyo, I.G.R. & Kumoro, A.C. 2022. Biodigestion of Mixed Substrates of Cow Manure-Delignified Spent Coffee Ground (DSCG) using Microorganism Enhancer for Biogas Production and Its Kinetic Study. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(3): 96–109.
- Utomo, M.A.P., Prabaningtyas, S., Lelitawati, M., Rizqiyah, A.L., Lovely, F.C., Zahidah, N.S. & Pratama, N.R. 2022. Perbandingan Kemampuan Effective Microorganisms (EM4) dan *Bacillus subtilis* Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Cair Tahu pada Kondisi Aerob. *Jurnal Ilmu Hayat*, 6(1): 42.
- Vilino, P., Sinaga, H., Suanggana, D. & Haryono, H.D. 2022. Analisis Produksi Biogas Sebagai Energi Alternatif Pada Kompor Biogas Menggunakan Campuran Kotoran Sapi dan Ampas Tahu. *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1).
- Wicaksono, A., Amalia, A. & Elvian Gayuh Prasetya, H. 2019. Pengaruh Penambahan EM4 Pada Pembuatan Biogas dengan Bahan Baku Kotoran Sapi Menggunakan Digester Fix Dome Sistem Batch. *Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur*, 2: A5.1-A5.7.
- Widyastuti, S. & Suyantara, Y. 2017. Penambahan Sampah Sayuran Pada Fermentasi Biogas Dari Kotoran Sapi Dengan Starter Em4. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 15(1): 36–42.
- Yahya, Y., Tamrin, T. & Triyono, S. 2018. Produksi Biogas Dari Campuran Kotoran Ayam, Kotoran Sapi, dan Rumput Gajah Mini (*Pennisetum Purpureum* cv. Mott) Dengan Sistem Batch. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 6(3): 151.
- Yogiswara, Y. & Dewanto, W.K. 2017. Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sebagai Penghasil Energi Alternatif dan Pupuk Organik Bagi Masyarakat Desa Sidomulyo Kabupaten Jember. *Prosiding*, 201–206.