

**PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN  
PENAMBAHAN STARTER KOTORAN SAPI DAN SUBSTRAT  
LIMBAH SAYUR DI PABRIK TEMPE MAHER SEBAGAI UPAYA  
PEMBERDAYAAN MELALUI PENDEKATAN *ASSET BASED  
COMMUNITY DEVELOPMENT* (ABCD)**

**PENELITIAN BERBASIS PENGABDIAN**

Untuk memenuhi persyaratan Sarjana S-1



Oleh:  
**Lutfita Ari Nuryani**  
21106030010

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2026**

# HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-550/Un.02/DST/PP.00.9/03/2026

Tugas Akhir dengan judul : Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Tempe Dengan Penambahan Starter Kotoran Sapi Dan Substrat Limbah Sayur Di Pabrik Tempe Maher Sebagai Upaya Pemberdayaan Melalui Pendekatan Asset Based Community Development (ABCD)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : LUTFITA ARI NURYANI  
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030010  
Telah diujikan pada : Kamis, 29 Januari 2026  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Sudarlin, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 69afc5b70230



Penguji I

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc  
SIGNED

Valid ID: 69a7c3362723



Penguji II

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 69afc1899c89e



Yogyakarta, 29 Januari 2026

UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 69a5d1951484f

# HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Lutfita Ari Nuryani  
NIM : 21106030010  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Tempe Dengan Penambahan Starter Kotoran Sapi Dan Substrat Limbah Sayur Di Pabrik Tempe Maher Sebagai Upaya Pemberdayaan Melalui Pendekatan Asset Based Community Development (ABCD)” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



ri 2026

Lutfita Ari Nuryani  
21106030010

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

# SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Lutfita Ari Nuryani  
NIM : 21106030010  
Judul Skripsi : Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Tempe Dengan Penambahan Starter Kotoran Sapi Dan Substrat Limbah Sayur Di Pabrik Tempe Maher Sebagai Upaya Pemberdayaan Melalui Pendekatan Asset Based Community Development (ABCD)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 15 Januari 2026

Pembimbing

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

Sudartin, M.Si  
NIP: 19850611 201503 1 002

**HALAMAN MOTTO**

*“Jalan Hidup Setiap Orang Itu Tidak Sama”*



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis ini penulis persembahkan dan didedikasikan untuk almamater Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Karya tulis ini juga penulis persembahkan untuk kedua Orang Tua tercinta.



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb*

Segala puji bagi Allah SWT, Sang Pemilik cahaya dan kehidupan, yang tak henti melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya kepada setiap insan. Atas izin dan ridha-Nya, langkah ini terus terjaga, asa ini tetap menyala. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, sang pembawa risalah agung, yang telah menuntun umat manusia dari gelapnya kebodohan menuju terang benderangnya peradaban. Semoga kelak kita semua beroleh syafaat beliau di hari yang tiada ampunan selain dari-Nya, aamiin ya Rabbal 'alamin. Alhamdulillah, dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur yang dalam, penulis telah menyelesaikan tugas akhir berjudul "Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Tempe Dengan Penambahan Starter Kotoran Sapi Dan Substrat Limbah Sayur Di Pabrik Tempe Maher Sebagai Upaya Pemberdayaan Melalui Pendekatan *Asset Based Community Development* (ABCD)" dengan sebaik-baiknya sebagai bentuk ikhtiar menuju gerbang ilmu yang lebih bermakna.

Penulis menyadari, bahwa perjalanan dalam menyusun karya ilmiah ini bukanlah tanpa rintangan, ada letih yang menyapa, ada keraguan yang menggoda, dan ada hari-hari yang terasa begitu sunyi tanpa arah. Namun, setiap langkah yang tertatih menjadi tegap kembali berkat kehadiran mereka yang senantiasa menyemangati dalam doa yang diam-diam dipanjatkan, dalam kata yang lembut namun menguatkan, dalam kehadiran yang sederhana namun meneduhkan. Atas segala doa, dukungan, dan motivasi yang mengalir tiada henti, penulis menghaturkan rasa terima kasih yang sedalamdalamnya kepada semua pihak yang telah menjadi cahaya di sepanjang perjalanan ini. Maka dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa syukur, izinkan penulis menyampaikan terima kasih tak terhingga kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga.
2. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga.
4. Bapak Sudarlin, M. Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang penuh dedikasi dan keteladanan. Beliau senantiasa meluangkan

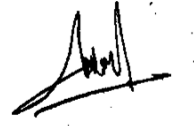
waktu di tengah kesibukan, memberikan bimbingan dengan ketelatenan, menyampaikan arahan dengan kejernihan, menyalurkan nasihat yang menenangkan, serta menguatkan dengan dukungan dan motivasi yang tak ternilai. Dukungan, motivasi, serta pemantauan yang beliau berikan secara berkelanjutan sangat membantu dalam menjaga kualitas dan ketepatan arah dari tugas akhir ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.

5. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian, serta selalu memberikan semangat kepada penulis.
6. Seluruh Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmunya selama bangku perkuliahan.
7. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya dan setulus-tulusnya kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Seno dan Ibu Aminah, atas segala bentuk pengorbanan, kerja keras, dan dedikasi yang tiada henti dalam mendukung setiap langkah penulis. Setiap usaha yang dilakukan demi memenuhi kebutuhan, memberikan pendidikan, membimbing dengan penuh kasih, serta menyemangati dalam berbagai keadaan, menjadi fondasi utama yang menguatkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Ketiga saudara laki-laki penulis, Agus Priyanto, Apri Margiyanto, dan Krestri Yuliyanto yang selalu memberikan hiburan, dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.
9. Partner hidup penulis, Alifi Ardianto serta keluarganya yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan kekuatan, doa dan dukungan secara materi maupun motivasi.
10. Teman-teman penulis, sobat slayy Sofia, Nia, dan Fatma yang selalu ada dikondisi apapun, selalu menemani, menghibur, dan membantu penulis, serta selalu memberikan semangat kepada penulis.
11. Segenap teman-teman Misty Cloud Sect Dina, Dini, Silvia, Aulia, Ratieh, Rendi, Adib, Ade, Syifa, Putra yang selalu memberi dukungan, doa, dan hiburan kepada penulis.
12. Teman-teman Scandium, Kimia 21 yang telah berjuang bersama-sama, terima kasih atas kenangan selama kuliahnya.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam bentuk apapun kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Besar harapan, dengan disusunnya skripsi ini semoga dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi banyak orang. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan

skripsi ini dan masih jauh dari kata sempurna. Semoga Allah SWT.  
senantiasa memberikan kemudahan kepada kita semua, Aamiin...  
*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Penulis,



Lutfita Ari Nuryani



## DAFTAR ISI

PENELITIAN BERBASIS PENGABDIAN .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR .....	iv
HALAMAN MOTTO .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Batasan Masalah .....	8
C. Rumusan Masalah.....	9
D. Tujuan Penelitian .....	9
E. Manfaat Penelitian .....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	10
A. Tinjauan Pustaka.....	10
B. Landasan Teori .....	13
1. Metode <i>Asset Based Community Development</i> (ABCD).....	13
2. Skala Likert.....	15
3. Biogas .....	16
4. Limbah Cair Tempe .....	21
5. Limbah Sayur.....	23
6. Kotoran Sapi .....	24
7. <i>Gas Chromatography</i> (GC) .....	25
8. Nilai Kalor .....	28
C. Hipotesis Penelitian.....	29
BAB III METODOLOGI PENGABDIAN.....	32
A. Jenis Kegiatan, Tempat, dan Mitra Pengabdian.....	32
B. Tahapan <i>Asset Based Community Development</i> (ABCD) .....	32
C. Teknik Analisis Kimia .....	34
1. Rancangan Alat Digester .....	34
2. Prosedur Penelitian .....	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	37
A. Hasil Tahapan <i>Asset Based Community Development</i> (ABCD) .....	37
B. Hasil Analisis Kimia .....	48
1. Hasil Pengukuran Suhu dan pH.....	48
2. Hasil Analisis Warna Nyala Api.....	49
3. Hasil Analisis Kadar Gas Metana .....	51
4. Hasil Analisis Nilai Kalor .....	54
BAB V PENUTUP .....	60
A. Kesimpulan .....	60
B. Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	72



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b> Perendaman dan Perebusan Kedelai.....	1
<b>Gambar 1. 2</b> Limbah Cair Tempe Hasil Perebusan.....	2
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik rata-rata hasil kuesioner .....	43
<b>No table of figures entries found.</b>	



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Hasil Analisa Kandungan Limbah Cair Tempe .....	22
<b>Tabel 2. 2</b> Kandungan Gas dalam Limbah Kotoran Sapi.....	25
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Pengukuran Suhu dan pH .....	48
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Analisis Kromatogram Substrat P <sub>0</sub> .....	51
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Analisis Kromatogram Substrat P <sub>1</sub> .....	52
<b>Tabel 4. 4</b> Perbandingan Kadar Metana pada Substrat P <sub>0</sub> dan P <sub>1</sub> .....	53
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil Perhitungan Nilai Kalor.....	59



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Perhitungan.....	72
<b>Lampiran 2.</b> Data Pengujian.....	73
<b>Lampiran 3.</b> Dokumentasi Penelitian.....	75



## ABSTRAK

### **Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Tempe Dengan Penambahan Starter Kotoran Sapi Dan Substrat Limbah Sayur Di Pabrik Tempe Maher Sebagai Upaya Pemberdayaan Melalui Pendekatan *Asset Based Community Development (ABCD)***

Oleh:

**Lutfita Ari Nuryani**

**21106030010**

Pembimbing:

**Sudarlin, M.Si**

Limbah cair tempe merupakan limbah agroindustri dengan kandungan bahan organik tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Kandungan senyawa organik seperti karbohidrat, protein, dan lemak menyebabkan nilai Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) yang tinggi, sehingga dapat menurunkan kualitas air dan menimbulkan bau tidak sedap. Namun demikian, karakteristik tersebut juga menjadikan limbah cair tempe berpotensi besar sebagai bahan baku biogas melalui proses fermentasi anaerob. Kombinasi limbah cair tempe dengan kotoran sapi dan limbah sayur dapat meningkatkan efisiensi proses degradasi bahan organik serta produksi energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk pemberdayaan industri tempe dalam pemanfaatan limbah cair tempe menjadi biogas dengan waktu retensi selama 60 hari. Penelitian ini menggunakan pendekatan Asset Based Community Development (ABCD) yang dikembangkan oleh John L. McKnight dan John P. Kretzmann. Pendekatan ABCD dilakukan melalui identifikasi dan pemetaan aset yang dimiliki, meliputi limbah cair tempe sebagai aset fisik, kotoran sapi dan limbah sayur sebagai aset lingkungan, serta keterlibatan pemilik industri sebagai aset manusia dan sosial. Pendekatan ini menekankan pemanfaatan potensi lokal sebagai dasar pengembangan energi alternatif.

Hasil pembuatan biogas dengan 2 variasi substrat yakni substrat berupa campuran limbah cair tempe dengan kotoran sapi (kode: P<sub>0</sub>) dan substrat pembanding berupa limbah cair tempe, kotoran sapi, dan limbah sayur (kode: P<sub>1</sub>) memiliki rentang suhu 29°C - 30°C, dan pH setelah fermentasi yaitu 7,08 untuk substrat P<sub>0</sub> dan 6,99 untuk substrat P<sub>1</sub>. Hasil

analisis kadar gas mudah terbakar dalam biogas dengan GC-FID menunjukkan angka 99,247% untuk substrat P<sub>0</sub> dan 99,927% untuk substrat P<sub>1</sub> adalah gas CH<sub>4</sub>. Hasil yang didapatkan dari analisis nilai kalor yang dilakukan menggunakan GC-TCD sebesar 14,31 MJ/Nm<sup>3</sup> untuk substrat P<sub>0</sub> dan 26,48 MJ/Nm<sup>3</sup> untuk substrat P<sub>1</sub>. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi biogas dengan waktu retensi 60 hari menghasilkan biogas dengan kandungan metana (CH<sub>4</sub>) yang tinggi dan kualitasnya baik.

---

**Kata kunci:** biogas, limbah cair tempe, kotoran sapi, limbah sayur, energi, ABCD



## ABSTRACT

### **Making Biogas from Tempe Liquid Waste with the Addition of Cow Dung Starter and Vegetable Waste Substrate at the Maher Tempe Factory as an Empowerment Effort Through the Asset Based Community Development (ABCD) Approach**

**Oleh:**

**Lutfita Ari Nuryani**

**21106030010**

**Pembimbing:**

**Sudarlin, M.Si**

Tempe liquid waste is an agro-industrial waste with a high organic content that has the potential to pollute the environment if disposed of without adequate treatment. The high content of organic compounds such as carbohydrates, proteins, and fats results in high Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD), which can degrade water quality and produce unpleasant odors. However, these characteristics also make tempeh liquid waste a potential raw material for biogas through anaerobic fermentation. Combining tempeh liquid waste with cow dung and vegetable waste can increase the efficiency of the organic material degradation process and produce environmentally friendly renewable energy.

This research aims to empower the tempeh industry by utilizing tempeh liquid waste to produce biogas with a retention time of 60 days. This research uses the Asset-Based Community Development (ABCD) approach developed by John L. McKnight and John P. Kretzmann. The ABCD approach involves identifying and mapping existing assets, including tempeh liquid waste as a physical asset, cow dung and vegetable waste as environmental assets, and the involvement of industry owners as human and social assets. This approach emphasizes the utilization of local potential as a basis for alternative energy development.

The results of biogas production with 2 variations of substrates, namely a mixture of tempe liquid waste with cow dung (code: P<sub>0</sub>) and a comparison substrate in the form of tempe liquid waste, cow dung, and vegetable waste (code: P<sub>1</sub>) have a temperature range of 29°C - 30°C, and

a pH after fermentation of 7.08 for substrate P<sub>0</sub> and 6.99 for substrate P<sub>1</sub>. The results of the analysis of combustible gas levels in biogas with GC-FID showed that 99.247% for substrate P<sub>0</sub> and 99.927% for substrate P<sub>1</sub> were CH<sub>4</sub> gas. The results obtained from the calorific value analysis carried out using GC-TCD were 14.31 MJ/Nm<sup>3</sup> for substrate P<sub>0</sub> and 26.48 MJ/Nm<sup>3</sup> for substrate P<sub>1</sub>. These results indicate that the biogas fermentation process with a retention time of 60 days produces biogas with high methane (CH<sub>4</sub>) content and good quality.

**Keywords:** biogas, tempe liquid waste, cow dung, vegetable waste, energy, ABCD



# BAB I PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang Masalah

Tempe sebagai produk fermentasi kedelai khas Indonesia, memiliki peran penting dalam konsumsi masyarakat. Tingginya tingkat konsumsi tempe menjadi salah satu faktor penyebab banyaknya pabrik pembuatan tempe di berbagai daerah. Namun, proses produksi tempe dapat menghasilkan limbah cair yang apabila tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan berbagai masalah lingkungan dan kesehatan. Salah satu pabrik pembuatan tempe yaitu pabrik tempe Maher yang berada di desa Kempul, Mintoragan, Potorono, Banguntapan, Bantul.



**Gambar 1. 1** Perendaman dan perebusan kedelai

Pabrik tempe Maher dapat memproduksi tempe sekitar 50 kg hingga 70 kg per harinya. Limbah tempe yang dihasilkan yaitu limbah cair tempe dan limbah kulit kedelai. Limbah cair tempe berasal dari air perendaman, pencucian, dan perebusan kedelai dan limbahnya dapat mencapai 300 sampai 400 liter setiap harinya. Limbah cair hasil perebusan biasanya digunakan sebagai pakan ternak sapi oleh warga

sekitar. Sisa limbah yang lain hanya akan dialirkan langsung ke sungai di dekat lokasi pabrik. Hal tersebut yang menyebabkan tercemarnya air sungai mulai dari warna air berubah keruh hingga air berbau tidak sedap.



**Gambar 1. 2** Limbah Cair Tempe Hasil Perebusan

Limbah cair tempe memiliki kandungan senyawa kompleks terdiri dari protein sebesar 0,42%, lemak 0,13%, karbohidrat 0,11%, air 98,87%, kalsium 13,60 ppm, fosfor 1,74 ppm dan besi 4,55 ppm (Prasetio & Widyastuti, 2020). Limbah cair industri tempe sangat khas dengan karakteristik TSS (*Total Suspended Solid*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi, pH asam, bersifat biodegradable (dapat diuraikan oleh mikroorganisme) (Ayuni & Putri, 2022). Senyawa organik yang terkandung di dalam limbah cair tempe akan dihancurkan oleh bakteri pada saat prosesnya semakin lambat. Proses tersebut sering disertai dengan bau busuk (Sari & Rahmawati, 2020). Limbah dengan bahan organik yang cukup dapat mengaktifkan mikroorganisme sehingga bahan organik dapat diurai dan menghasilkan gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  (Djarwati, dkk, 2000). Gas hasil dari penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme tersebut dikenal sebagai biogas. Limbah cair tempe dapat menjadi substrat pada pembuatan biogas (Arifin, 2016).

Limbah sayur dapat digunakan sebagai substrat tambahan untuk meningkatkan produksi biogas. Limbah sayur yang kaya dengan karbohidrat dan serat bertujuan untuk meningkatkan kandungan metana ( $\text{CH}_4$ ) dalam biogas yang dihasilkan, menjadikannya lebih berkualitas untuk digunakan sebagai bahan bakar (Nasoetion, dkk., 2023). Limbah sayuran mempunyai kandungan gizi yang rendah yaitu berupa protein kasar dengan kandungan 1-15% dan serat kasar 5-38% (Kurniawati, dkk., 2021). Sampah sayuran pasar meliputi berbagai jenis sayuran yang umum, misalnya: kubis, kangkung, bayam, tomat, timun, sawi, dan sebagainya, sampah sayuran mengandung lebih banyak bahan organik yang mudah membusuk, lembab, dan mengandung sedikit cairan, dan dapat terdekomposisi secara cepat, terutama ketika cuaca hangat (Afiah, dkk., 2022).

Limbah sayuran mengandung bahan-bahan organik dengan rasio C/N tergolong tinggi. Rasio C/N limbah sayuran adalah 54 (Mamanua, dkk., 2023). Rasio C/N yang ideal untuk pembentukan biogas adalah 20-30:1, yaitu jumlah karbon dalam substrat harus 20 hingga 30 kali lipat dari jumlah nitrogen yang ada. Rasio C/N yang tinggi dapat menghambat tahap permulaan degradasi substrat oleh mikroorganisme (Arifin, 2016). Ketika rasio C/N tinggi, proses fermentasi menjadi lambat. Mikroorganisme tidak dapat mengkonversi karbon secara efisien menjadi energi, yang mengakibatkan penguraian bahan organik berlangsung lebih lama (Mukhlis, 2014). Oleh karena itu, dalam pembuatan biogas penggunaan sampah sayuran perlu adanya penambahan kotoran ternak dengan rasio C/N rendah (kadar nitrogen tinggi) supaya dapat menunjang kadar metan dari sampah sayuran dan dapat menghasilkan biogas yang baik (Mamanua, dkk., 2023). Salah

satu bahan baku yang memiliki kandungan nitrogen tinggi adalah kotoran sapi (Deng, et al., 2020).

Kotoran ternak yang dapat berpotensi untuk digunakan sebagai starter atau media penghasil biogas yaitu kotoran sapi, karena mengandung bakteri penghasil gas metana (bakteri metanogenik) yang sebelumnya berperan dalam proses fermentasi yang terjadi pada rumen sapi (Bidiyanti, dkk., 2018). Kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan beberapa nutrient seperti nitrogen, fosfor dan kalium yang berfungsi sebagai bahan pengisi biogas (Shitophyta, dkk., 2022). Kotoran sapi memiliki rasio C/N yang rendah, yaitu perbandingan jumlah karbon dan nitrogen 18:1 dengan proporsi karbon sebesar 7,3% dan nitrogen 0,29%. Rasio C/N yang rendah dapat mengubah sisa nitrogen menjadi amonia bebas yang merupakan inhibitor dalam sistem digesti anaerobik, maka dari itu, kotoran hewan biasanya dicampur dengan limbah pertanian atau limbah organik lainnya yang memiliki rasio C/N tinggi (Deng, et al., 2020). Dengan mencampurkannya dengan kotoran hewan yang kaya nitrogen, rasio C/N dapat disesuaikan untuk mendukung aktivitas mikroorganisme penghasil biogas (Hidayatullah, dkk., 2019).

Biogas dapat terjadi dari perombakan dan pengolahan yang memanfaatkan mikroorganisme dengan mengurai limbah organik yang mengandung protein, lemak, dan karbohidrat pada ruang kedap udara (anaerob) (Nabila & Hendriyanto, 2021). Hasil dari pembuatan biogas akan dianalisis menggunakan beberapa metode. Metode yang digunakan untuk analisis biogas diantaranya yaitu *Gas Chromatography* (GC), *Infrared Gas Analyzer* (IRGA), Kalorimeter Bomb, dan lain sebagainya. Cara kerja kromatografi gas adalah dengan pemisahan fisik,

dimana proses pemisahan didasarkan pada perbedaan kemampuan distribusi analit antara fase gerak dan fase diam dalam kolom pada percepatan dan waktu yang berbeda. Pada analisis gas metana, gas pembawa yang digunakan jenis N<sub>2</sub> atau He dengan tekanan 7 kg/cm<sup>2</sup>. Suhu injektor harus lebih tinggi dari titik didih gas yang diteliti (gas metana), biasanya 15-50°C diatas suhu kolom yakni ± 90°C, suhu kolom ± 70°C, detektor jenis FID (*Flame Ionization Detector*) (Sumantri, 2012). Metode lainnya adalah metode pembakaran sederhana (*flame test*) dengan pengujian sederhana untuk memastikan keberadaan metana dalam biogas dengan cara gas dibakar dan ada gas metana ditandai dengan warna biru dalam nyala api (Harahap, 2007). Pengukuran nilai kalor pada penelitian ini menggunakan kromatografi gas dengan detektor konduktivitas termal (GC-TCD) yang merupakan salah satu instrumen analitik yang paling banyak digunakan untuk menganalisis komposisi gas, terutama pada sampel yang mengandung metana dan karbon dioksida seperti biogas. Teknik ini bekerja berdasarkan perbedaan konduktivitas termal antar molekul gas sehingga mampu memberikan pengukuran kuantitatif yang akurat terhadap komponen utama biogas (Wahyudi, 2018). Pengukuran komposisi ini sangat penting karena nilai kalor biogas terutama ditentukan oleh fraksi mol metana sebagai komponen penyumbang energi terbesar. Semakin tinggi kandungan metana, semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan sehingga kualitas biogas dapat ditingkatkan melalui optimasi proses dan pemurnian (Fahriansyah, 2019).

Aspek pengabdian masyarakat pada penelitian ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan lingkungan, tetapi juga untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui pemberdayaan.

Pendekatan dalam penelitian ini dilakukan melalui strategi *Asset Based Community Development* (ABCD) untuk mengoptimalkan potensi lokal yang tersedia di lingkungan Pabrik Tempe Maher. *Asset Based Community Development* (ABCD) merupakan strategi pengembangan potensi lokal yang mengalihkan fokus dari defisit masyarakat menuju penemuan kekuatan internal. Berbeda dengan pendekatan tradisional yang berfokus pada masalah atau kekurangan suatu komunitas, ABCD menekankan pada pengenalan dan pemanfaatan aset, kekuatan, serta potensi yang telah dimiliki oleh masyarakat (Kretzmann & McKnight, 1993). *Asset Based Community Development* (ABCD) merupakan pendekatan dalam pengembangan masyarakat yang menekankan pemanfaatan aset dan potensi yang telah dimiliki oleh komunitas sebagai dasar dalam proses pemberdayaan. Pendekatan ini berfokus pada identifikasi serta penguatan sumber daya lokal seperti keterampilan individu, jaringan sosial, lembaga masyarakat, serta potensi ekonomi yang ada di lingkungan masyarakat. Pendekatan ini diyakini mampu meningkatkan partisipasi warga dan menciptakan pembangunan yang lebih berkelanjutan karena berbasis pada kapasitas internal masyarakat (Abdurrahman, 2024). Dalam konteks ini, limbah cair tempe yang melimpah, kotoran sapi dari peternakan warga, serta limbah sayur dari pasar sekitar tidak lagi dipandang sekadar sebagai polutan, melainkan diidentifikasi sebagai aset material berharga yang memiliki nilai energi. Melalui mobilisasi aset-aset tersebut, penelitian berbasis pengabdian ini berupaya menciptakan kemandirian energi bagi pemilik industri rumah tangga sekaligus memberikan solusi berkelanjutan terhadap permasalahan lingkungan yang muncul dari proses produksi tempe.

Pengukuran tingkat pengetahuan, sikap, dan partisipasi masyarakat terhadap pemanfaatan limbah menjadi biogas dalam kerangka pendekatan ABCD, penelitian ini menggunakan instrumen kuesioner dengan skala Likert. Skala Likert dikembangkan oleh Rensis Likert sebagai metode pengukuran sikap melalui pernyataan tertutup dengan pilihan jawaban bertingkat. Dalam penelitian ini digunakan skala empat poin, yaitu: (1) sangat tidak setuju, (2) tidak setuju, (3) setuju, dan (4) sangat setuju. Setiap jawaban responden diberikan skor sesuai dengan tingkat persetujuannya. Perhitungan skor dilakukan dengan menjumlahkan seluruh skor jawaban responden pada setiap indikator, kemudian dihitung nilai rata-rata (mean) untuk mengetahui kecenderungan sikap atau persepsi masyarakat. Selanjutnya, skor tersebut dikategorikan ke dalam kriteria tertentu (misalnya rendah, sedang, dan tinggi) berdasarkan rentang interval skor yang telah ditentukan. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan tingkat penerimaan dan partisipasi masyarakat terhadap program pemberdayaan berbasis aset. Penggunaan skala Likert dalam penelitian sosial dinilai efektif untuk mengkuantifikasi konstruk sikap dan persepsi sehingga memungkinkan dilakukan analisis statistik yang lebih sistematis (Jebb, Ng, & Tay, 2021).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemanfaatan dan pemberdayaan aset lokal yang melimpah, yaitu limbah cair tempe, limbah sayur, dan kotoran sapi, sebagai bahan baku energi terbarukan dan dikembangkan sebagai kegiatan ekonomi yang menguntungkan. Selain itu, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis dalam pengelolaan limbah industri tempe peternakan dan pertanian di Indonesia, serta memberikan dampak positif

dalam pengurangan emisi gas rumah kaca melalui produksi energi bersih yang lebih berkelanjutan. Sumber energi alternatif biogas dapat dimanfaatkan sebagai solusi dari krisis energi yang sedang melanda Indonesia. Terlebih lagi Indonesia memiliki stok limbah biomassa yang berlimpah, dan belum dimanfaatkan secara maksimal (Rinaldi W. dkk, 2020).

## **B. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Kegiatan pengabdian dilaksanakan pada Industri Tempe Maher Bantul yang selanjutnya disebut sebagai mitra.
2. Pendekatan yang digunakan terbatas pada metode *Asset Based Community Development* (ABCD) dengan tahapan: *Discovery, Dream, Design* dan *Destiny*.
3. Penelitian ini dilakukan pada level prototype, yaitu menggunakan digester model skala kecil sebagai alat untuk menguji fungsi sistem dan mengetahui potensi produksi biogas serta energi yang dihasilkan dari limbah cair tempe sebelum dikembangkan ke skala yang lebih besar. Prototype merupakan model awal dari suatu sistem yang dibuat untuk menguji konsep, fungsi, dan performa sebagai dasar penyempurnaan pada tahap pengembangan selanjutnya (Ulrich & Eppinger, 2016).
4. Waktu yang digunakan pada penelitian ini yaitu selama 60 hari. Waktu retensi atau waktu tinggal bahan baku di dalam digester merupakan faktor lain yang menentukan jumlah biogas yang dihasilkan. Lama waktu retensi yang dianjurkan adalah 60 sampai 80 hari (Suyitno et al., 2010).

### **C. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah;

1. Bagaimana identifikasi aset lokal dalam pengelolaan limbah cair tempe?
2. Bagaimana implementasi teknologi biogas berbasis pendekatan ABCD?
3. Bagaimana temperatur, pH, kadar gas metana, dan total energi pembakaran biogas yang dihasilkan dari substrat P<sub>0</sub> dan P<sub>1</sub> dalam waktu retensi 60 hari?

### **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi aset lokal mitra.
2. Memberdayakan mitra dalam pemanfaatan limbah cair tempe menjadi biogas.
3. Menentukan temperatur, pH, kadar gas metana, dan total energi pembakaran biogas yang dihasilkan dari substrat P<sub>0</sub> dan P<sub>1</sub> dalam waktu retensi 60 hari.

### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mampu memberikan pengetahuan mengenai efektifitas pembuatan biogas dari limbah cair tempe dengan penambahan limbah sayur dan kotoran sapi sebagai alternatif energi.
2. Mampu memberikan solusi dalam pemanfaatan limbah cair tempe, limbah sayur dan kotoran sapi serta mengurangi dampak limbah cair tempe terhadap lingkungan.
3. Dapat dijadikan referensi lanjutan pada penelitian terkait pembuatan biogas.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Identifikasi aset lokal berhasil dilakukan melalui tahapan ABCD, meliputi ketersediaan limbah cair tempe sebagai sumber nitrogen, jerami padi sebagai sumber karbon, dan kotoran sapi sebagai starter yang mengandung bakteri metanogen. Pendekatan berbasis aset ini mampu menggali potensi lokal yang sebelumnya belum dimanfaatkan secara optimal.
2. Implementasi teknologi biogas berbasis ABCD berjalan secara partisipatif dan aplikatif. Mitra terlibat dalam proses perencanaan hingga pelaksanaan, sehingga program tidak hanya berorientasi pada hasil teknis, tetapi juga pada peningkatan kesadaran dan kemandirian dalam pengelolaan limbah.
3. Hasil pembuatan biogas dengan 2 variasi substrat yakni substrat berupa campuran limbah cair tempe dengan kotoran sapi (kode: P<sub>0</sub>) dan substrat pembanding berupa limbah cair tempe, kotoran sapi, dan limbah sayur (kode: P<sub>1</sub>) memiliki rentang suhu 29°C - 30°C, dan pH setelah fermentasi yaitu 7,08 untuk substrat P<sub>0</sub> dan 6,99 untuk substrat P<sub>1</sub>. Warna nyala api pada kedua variasi sama-sama berwarna biru. Hasil analisis biogas dengan GC-FID menunjukkan angka 99,247% untuk substrat P<sub>0</sub> dan 99,927% untuk substrat P<sub>1</sub>. Hasil yang didapatkan dari analisis nilai kalor yang dilakukan menggunakan GC-FID sebesar 14,31 MJ/Nm<sup>3</sup> untuk substrat P<sub>0</sub> dan

26,48 MJ/Nm<sup>3</sup> untuk substrat P<sub>1</sub>. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi biogas dengan waktu retensi 60 hari menghasilkan biogas dengan kandungan metana (CH<sub>4</sub>) yang cukup tinggi dan kualitasnya baik.

## **B. Saran**

Saran yang dapat disampaikan dalam penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan variasi komposisi substrat yang lebih beragam untuk memperoleh rasio C/N yang paling optimal guna meningkatkan efisiensi produksi metana dan nilai kalor biogas.
2. Penelitian lanjutan disarankan mengukur volume dan tekanan biogas secara kuantitatif harian, sehingga produktivitas total dan efisiensi konversi bahan organik dapat dianalisis lebih komprehensif.
3. Diperlukan pengujian lanjutan terhadap kandungan gas lain seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S, guna mengetahui tingkat kemurnian biogas dan kemungkinan penerapan proses pemurnian (upgrading).
4. Pengembangan skala produksi yang lebih besar perlu dipertimbangkan dengan analisis kelayakan ekonomi, sehingga biogas dapat dikembangkan sebagai unit usaha berbasis limbah industri tempe.
5. Pemberdayaan berbasis ABCD yang telah diterapkan dapat direplikasi pada industri tempe atau usaha agroindustri lain dengan karakteristik limbah organik serupa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afiah, N., et al. 2022. Pengaruh Rasio Limbah Sayuran dan Limbah Ikan terhadap Hasil Produksi Biogas. *Journal Technology Process (JTP)*, Vol. 02, No. 01 Tahun 2022.
- Agustin, A.W., et al. 2023. Potensi Pemanfaatan Biogas Dari Sampah Organik Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *INSOLOGI (Jurnal Sains dan Teknologi)*, Vol. 2 No. 6 (2023) 1103 – 1110.
- Ahmad, I., Ghazi, T. I. M., & Abdurahman, N. H. 2021. Anaerobic Digestion of Food Waste: A Review on Process Monitoring and Control. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127643.
- Anwar, S., et al. 2024. Identifikasi Kandungan Karbon dan Nitrogen pada Kotoran Sapi Feedlot Polije dan Kulit Pisang. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, Vol.6 No.2.
- Appels, L., Van Der Heyden, J., & Van Keer, H. 2011. Biogas Production from Waste: A Review on Anaerobic Digestion and Biogas Upgrading. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 200-212.
- Araujo, M. N., Vargas, S. R., Soares, L. A., Trindade, L. F., Fuess, L. T., & Adorno, M. A. T. 2023. A Fast Method For The Determination Of Biogas Composition By Gas Chromatography Coupled With Thermal Conductivity Detector (GC-TCD). *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*.
- Arifin, W. 2016. Rancang Bangun Alat Konversi Biogas Limbah Cair Tempe dan Pengujian dengan Penambahan Variasi Campuran Sekam Padi. *Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah: Surakarta.
- ASTM D3588-18. 2018. *Standard Practice for Calculating Heat Value, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous Fuels*. ASTM International.

- Ayuni, S., & Putri, E.S. 2022. Pengelolaan Limbah Industri Tempe Rumah Tangga di Kecamatan Meurebo Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Jurnakemas*, Vol.2 No.2.
- Basu, P. 2018. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction* (3rd ed.). Academic Press.
- Bidiyanti, et al. 2018. Formulasi Substrat Dasar Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tempe dengan Menggunakan Inokulum Rumen Sapi untuk Studi Awal Produksi Biogas. *Biocelebes*, 12(1), pp 1-9.
- Budiman, A. 2018. Aplikasi Kromatografi Gas dalam Analisis Komposisi Gas Alam dan Biogas. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*.
- Budiyono, Widiassa, I. N., Johari, S., & Sunarso, S. 2010. The kinetic of biogas production rate from cattle manure in batch mode. *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 3(1), 39–44.
- Budiyono, B., Widiassa, I. N., & Sunarso, S. 2014. Pengaruh Komposisi Biogas Terhadap Nilai Kalor Dan Efisiensi Pembakaran. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 13(2), 78–85.
- Budiyono, et al. 2021. Effects of Comparison of Feed Composition, pH, and Preliminary Treatment of Biogas Production from Cow Blood Waste and Molasses. *Waste Technolog (WasTech)*, 9(1), pp 11-19.
- Cahyono, Y.H., & Ratni, N.J.A.R. 2023. Efektifitas Kombinasi Limbah Sayur dan Kotoran Sapi Sebagai Bahan Utama Pembuatan Biogas dalam Digester Anaerob. *INSOLOGI (Jurnal Sains dan Teknologi)*, Vol. 2 No. 4 (2023) 719 – 729.
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044–4064.
- Creswell, J. W. 2014. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

- Dahruji, et al. 2017. Studi Pengolahan Limbah Usaha Mandiri Rumah Tangga dan Dampak bagi Kesehatan di Wilayah Kenjeran. *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), pp 36-44.
- Deng, L., et al. 2020. *Biogas Technology*. Singapore: Springer.
- Djarwati, et al. 2000. Pemanfaatan Energi Hasil Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 3(2), pp 66-70.
- Effendy, S., et al. 2018. Biogas Hasil Konversi Limbah Kotoran Sapi sebagai Bahan Bakar Genset untuk Menghasilkan Energi Listrik Kapasitas 0,3 kWatt. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2018 ISSN 2085-4218*, pp 97-102.
- Fahriansyah, F. (2019). Peningkatan Gas Metana Dan Nilai Kalori Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian. *Jurnal Energi Terbarukan*, 30-37.
- Fitri, M.A., & Dhaniswara, T.K. 2018. Pemanfaatan Kotoran Sapi dan Sampah Sayur Pada Pembuatan Biogas dengan Fermentasi Sampah Sayuran. *Journal of Research and Technology*, Vol. 4 No. 1.
- Ganggan, N. W., Styana, U. I. F., & Cahyono, M. S. 2022. Potensi campuran kotoran sapi dan limbah cair rumah pemotongan ayam sebagai sumber energi penghasil biogas. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 6(1), 29–38. e-ISSN 2549-8681.
- Gerardi, M. H. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. Wiley-Interscience.
- Gisca, Bernadheta. 2013. *Pengaruh Sifat Penyalaan Terhadap Briket Tmpurung Kelapa*. Vol 2, No. 4.
- Harahap, I. V. (2007). *Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi Dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian Terhadap Biogas Yang Dihasilkan*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

- Haryanto, A., Triyono, S., & Sutaryo. 2018. Analisis Kualitas Biogas dari Limbah Peternakan Menggunakan Gas Chromatography. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 6(2), 109–118.
- Haryanto, A., dkk. 2021. Karakteristik Pembakaran Biogas pada Berbagai Variasi Kadar Metana Menggunakan Analisis Kromatografi. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*.
- Hendayana, Sumar. 2006. *Kimia Pemisahan (Metode Kromatografi dan Elektroforesis Modern)*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya, hal 32 dan 54.
- Hidayatullah, M.I.S., et al. 2019. Pengaruh Variasi C/N Ratio terhadap Volume Produksi Biogas Kotoran Ternak Ayam Petelur. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*, 9(1) (2019) 1-8.
- Hinshaw, J. V. (2019). Thermal Conductivity Detector. *LCGC North America*, 37(6), 410–416.
- Iminnafik, N., Listyadi, D., & Sutjahjono, H. 2017. *Thermal characteristic of flame as quality parameter of biogas of market waste* [Paper]. Universitas Jember.
- Ilmiyatun, A.Q. 2024. Pengaruh Penambahan Kotoran Sapi Terhadap Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Tempe Qolbun Salim dan Sekam Padi Dalam Waktu Retensi 20 Hari. *Skripsi*. Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga : Yogyakarta.
- Indrawan, K. W. 2011. *Pemurnian Biogas Menggunakan Adsorben Silika Gel dan Bentonit*. Universitas Gadjah Mada
- Jafari N.H., Stark T.D., Thalhamer T. 2017. Spatial and Temporal Characteristics of Elevated Temperatures in Municipal Solid Waste Landfills. *Waste Management* 59, 286-301.
- Karki, R., Chuenchart, W., & Surendra, K. C. 2021. Anaerobic Digestion: Current State and Perspectives. *Bioresource Technology*, 330, 125001.
- Khopkar, S, M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press, hal 160.

- Kumar, A., Samadder, S. R., & Kumar, N. 2019. A Review on Biogas Generation from Organic Waste for Sustainable Energy Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109–120.
- Kurniawati, M.W., et al. 2021. Pemanfaatan Limbah Sayur dan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, Vol.3 No.02.
- Kretzmann, J. P., & McKnight, J. L. (1993). *Building communities from the inside out: A path toward finding and mobilizing a community's assets*. ACTA Publications.
- Leiwakabessy, A., Pattipeilohy, M., & Leasa, G. (2022). Produksi biogas dari campuran limbah tahu dan kotoran sapi dengan variasi waktu fermentasi. *Biopendix: Jurnal Biologi, Pendidikan dan Terapan*, 9(1), 34–42.
- Mafruddin, et al. 2022. Kinerja Bom Kalorimeter Sebagai Alat Ukur Nilai Kalor Bahan Bakar. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro (TURBO)*, Vol. 11 No. 1.
- Mallapiang, F. Y. (2020). engelolaan sampah dengan pendekatan Asset-Based Community Development (ABCD) di wilayah pesisir Bulukumba Sulawesi Selatan. *Riau Journal of Empowerment*, 79-86.
- Mamanua, E., et al. 2023. Kombinasi Feses Ternak Babi dan Limbah Sayuran Untuk Optimalisasi Produksi Biogas. *Jurnal Zootec*, Vol. 43 No. 1 : 94 – 101.
- Mangopo, et al. 2018. Formulasi Substrat Dasar Kotoran Ayam dan Limbah Cair Tempe dengan Inokulum Rumen Sapi untuk Studi Awal Produksi Biogas. *Biocelbes*, 12(2), pp 33-43.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. 2015. Review on Research Achievements of Biogas from Agricultural Wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555.
- Mardoni, dkk. 2007. Perbandingan Metode Kromatografi Gas dan Berat Jenis pada Penetapan Kadar Etanol dalam Minuman Anggur.

[http://www.usd.ac.id/06/publ\\_dosen/far/mardoni.pdf](http://www.usd.ac.id/06/publ_dosen/far/mardoni.pdf) diakses 30 Oktober 2007.

- Maulana, M. (2019). Asset-Based Community Development: Strategi Pengembangan Masyarakat di Desa Wisata Ledok Sambi Kaliurang. *Jurnal Pengembangan Masyarakat Islam*, 259-278.
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Misra, R. D., Mahanta, P., & Gohil, P. 2018. Study on biogas generation and utilization as an alternative energy source. *Renewable Energy Journal*, 122(3), 45–52.
- Mukhlis. 2014. Biodegradasi Bahan Organik Oleh Mikroba Dan Pengaruhnya Terhadap Tanaman Padi Di Lahan Gambut. *AGRIC Vol.26*, No. 1 & 2, Juli - Desember 2014: 37 – 44.
- Nabila, S.N., & Hendriyanto, O.C. 2021. Produksi Biogas dari Kombinasi Kotoran Kambing dan Limbah Ikan Dalam Biodigester Anaerob. *Jurnal Teknik Lingkungan (ENVIROUS)*, Vol.2 No.1.
- Nasoetion, P., et al. 2023. Pembuatan Biogas Secara Kontinu Dari Limbah Sayuran Dengan Campuran Kotoran Sapi. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, Volume 7, No.2, Agustus: 59-115.
- Nurhadi, F. 2012. *Uji Kinerja Alat Pemurnian Biogas Tipe MP 12135 (PVC) Menggunakan Adsorben Zeolit Aktif dan Karbon Aktif*. Universitas Padjadjaran.
- Nuriana, W., dkk. 2018. Analisis Komposisi Gas pada Reaktor Biogas dengan Menggunakan Kromatografi Gas Detektor Konduktivitas Termal. *Jurnal Energi dan Manufaktur*.
- Oji, A.W., et al. 2020. Determination Of The Calorific Value Of Municipal Solid Waste In Enugu, Nigeria and Its Potential For Electricity Generation. *CIGR Journal*, Vol. 22, No. 2.

- Pambudi, N. A., dkk. 2017. Analisis Termodinamika Pengaruh Komposisi Metana terhadap Efisiensi Termal Mesin Biogas. *Jurnal Energi Terbarukan*.
- Pereiz, Z., et al. 2023. Mengurangi Emisi Gas Metana Dengan Mengolah Limbah Cair Tempe Menjadi Biogas. *Jurnal Pengabdian Cendikia*, Volume 2, Nomor 6, September 2023, Halaman 119-126.
- Prasetio, J., & Widyastuti, S. 2020. Pupuk Organik Cair dari Limbah Industri Tempe. *Jurnal Teknik Waktu*, 18(2), pp 22-32.
- Prasetyo, E., dkk. (2019). Optimasi Parameter GC-FID untuk Analisis Gas Metana pada Digester Anaerobik Limbah Cair Kelapa Sawit. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*.
- Prihartiningtyas, S., et al. 2019. *Biodigester untuk Biogas*. Jombang: Fakultas Pertanian Universitas KH. Wahab Hasbullah.
- Pujiati, Dewi, N. K., & Setiawan, D. 2020. *Produksi Biogas Berbasis Biomassa*. Madiun: UNIPMA Press.
- Purwinda, I. Yanti, S. Angga, K. 2016. Efisiensi Adsorpsi Gas Karbondioksida Pada Biogas Dengan Menggunakan Variasi Ukuran Adsorben (Karbonaktif). *Jurnal Teknik Energi*, Vol 6 No 2.
- Puspawati, S.W., et al. 2019. An Overview of Biogas Utilization from Tempeh Wastewater. *Earth and Environmental Science*, 306 (2019) 012019.
- Putra, G.M.D., et al. 2017. Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable dari Limbah Kotoran Ternak Sapi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, Vol. 5, No. 1.
- Rinaldi, W., et al. 2020. Pengaruh Ukuran Jerami, Penambahan Urea, dan Rasio Jerami-Air Terhadap Pembentukan Biogas. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, Vol. 1, No.2, Hlm.10-15.

- Rykebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H. 2011. Techniques for Transformation of Biogas to Biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1633–1645.
- Saputra, N. T., et al. 2023. Pemurnian Biogas dari *Co-Digestion* Limbah Cair Industri Tahu dengan Kotoran Sapi menggunakan Absorben MEA pada Kolom Isian. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII (3), pp 6608-6614.
- Sari, D., & Rahmawati, A. 2020. Analisa Kandungan Limbah Cair Tempe Air Rebusan Dan Air Rendaman Kedelai. *Jurnal Ilmiah Media Husada*, 9(1), pp 36-41.
- Sari, N. M., dkk. 2020. Pengembangan Metode Kromatografi Gas untuk Monitoring Gas Bio-Hidrogen dan Metana. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*.
- Setiawan, B., & Kurniawan, R. 2020. Studi Perbandingan Metode Deteksi Gas Metana pada Reaktor Biogas Skala Laboratorium. *Jurnal Mekanik dan Termal*.
- Shitophyta, L.M., et al. 2022. Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review. *Journal of Chemical Process Engineering*, Vol.7 No.2.
- Siahaan, A.R., et al. 2018. Analisa Reaktor Biogas Campuran Limbah Kotoran Kambing Dengan Jerami dan Em4 Sistem Menetap. *Sintek Jurnal*, Vol. 12 No. 1, Juni 2018 p-ISSN: 2088-9038, e-ISSN: 2549-9645.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. 2017. *Principles of Instrumental Analysis*. 7th ed. Cengage Learning. (Menjelaskan teori kromatografi gas-padat dan polimer berpori).
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. 2018. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sonalitha, E., et al. 2024. Pengolahan Limbah Cair Tempe Pada Industri Skala Kecil Di Kepanjen, Kabupaten Malang. *JAPI (Jurnal*

*Akses Pengabdian Indonesia*), Volume 9, Nomor 2, Agustus 2024, e-ISSN 2548-3463.

- Speight, J. G. 2011. *The Chemistry and Technology of Natural Gas*. CRC Press.
- Sugiyono. 2021. *Metode Penelitian Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sukmana, W.R., dan Anny, M. 2011. *Biogas Dari Limbah Ternak*. Bandung: Penerbit Nuansa.
- Sulistyanto, A. 2006. Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara dan Sabut Kelapa. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 7 No. 2. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Pabelan Kartasura.
- Sumantri, W. P. (2012). Pengaruh Penambahan Biochar Limbah Pertanian Dan Pestisida Pada Inkubasi Tanah Inceptisol Untuk Menekan Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) Sebagai Gas Rumah Kaca. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 521-527.
- Surroop, D., & Sharma, K. 2015. Energy Recovery from Anaerobic Digestion of Organic Waste. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(3), 2231–2240.
- Suryati, T., Handayani, S., & Prasetyo, D. 2019. Karakterisasi Biogas Menggunakan GC-TCD Pada Proses Digesti Anaerob Limbah Organik. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 29(1), 45–52.
- Suyitno, Sujono, A., & Darmanto. 2010. *Teknologi Biogas Pembuatan, Operasional dan Pemanfaatan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Syamsiro, M., dkk. 2016. Pengaruh Pemurnian Biogas Menggunakan Biochar terhadap Karakteristik Pembakaran. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*.
- Tati, Y. (2018). Produksi Biogas dari Limbah Organik dengan Proses Anaerob. *Jurnal Ilmiah XYZ*, 5(2), 45–52.
- Verma, S. 2021. *Anaerobic Digestion of Biodegradable Wastes for Biogas Production*. CRC Press.

- Wahyudi. 2006. Penelitian Nilai Kalor Biomassa : Perbandingan Antara Hasil Pengujian Dengan Hasil Perhitungan. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol. 9, No. 2, 2006: 208 – 220.
- Wahyudi, S. (2018). Analisis Kromatografi Gas Untuk Penentuan Komposisi Gas Biogas. *Jurnal Teknik Kimia*, 45-52.
- Wahyuni, S. 2015. *Biogas: Energi Terbarukan Ramah Lingkungan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Wahyuni, S., Nurhayati, & Rahayu, S. 2020. Penentuan Nilai Kalor Biogas Berdasarkan Komposisi Gas Hasil Analisis GC-TCD. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 16(2), 55–62.
- Wang, Z., Li, Y., & Zhang, J. 2022. Quantification of Biogas Components by Gas Chromatography-Thermal Conductivity Detector (GC-TCD): Method Validation and Uncertainty Analysis. *Analytical Methods in Chemistry*, 14(3), 500-510.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. 2008. Optimisation of the Anaerobic Digestion of Agricultural Resources. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928–7940.
- Widiasa, I. N., Budiyo, & Johari, S. 2018. Analisis Kualitas Biogas Berdasarkan Kandungan Metana Dan Karbon Dioksida. *Jurnal Presipitasi*, 15(1), 1–8.
- Widyarani, dkk. 2022. Evaluasi Kinerja Digester Anaerobik melalui Profil Gas Menggunakan GC-TCD. *Jurnal Publikasi Ilmiah Bidang Teknologi Pertanian*.
- Widyastuti, S., & Mulyani, S. 2018. Sludge Lumpur Aktif, Sampah Dapur dan Kotoran Sapi sebagai Bahan Baku Biogas Portabel. *Jurnal Teknik WAKTU*, Volume 16 Nomor 02 – Juli 2018 – ISSN : 1412-1867.
- Wiradana, K.Y., et al. 2023. Potensi Campuran Limbah Nasi dan Kotoran Sapi sebagai Penghasil Biogas. *Jurnal Kesehatan Tambusui*, Vol.4 No.3 ISSN : 2774-5848.