

**PENGEMBANGAN ALAT PENGHASIL BIOGAS DARI KOTORAN SAPI  
DILENGKAPI DENGAN TABUNG PEMURNIAN SEBAGAI MEDIA  
PEMBELAJARAN UNTUK PRAKTIKUM KIMIA KELAS X**

**Skripsi**

**Oleh**

**KHOMSATUN MUCHLISOH  
NPM 2013023015**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

**PENGEMBANGAN ALAT PENGHASIL BIOGAS DARI KOTORAN SAPI  
DILENGKAPI DENGAN TABUNG PEMURNIAN SEBAGAI MEDIA  
PEMBELAJARAN UNTUK PRAKTIKUM KIMIA KELAS X**

**Oleh**

**KHOMSATUN MUCHLISOH**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Program Studi Pendidikan Kimia  
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## ABSTRAK

### **PENGEMBANGAN ALAT PENGHASIL BIOGAS DARI KOTORAN SAPI DILENGKAPI DENGAN TABUNG PEMURNIAN SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN UNTUK PRAKTIKUM KIMIA KELAS X**

Oleh

**KHOMSATUN MUCHLISOH**

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan tabung pemurnian skala laboratorium, serta mendeskripsikan karakteristik dan keberfungsian alat yang dikembangkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan (R&D) menurut Borg & Gall yang dilakukan sampai tahap ketiga dari sepuluh tahap yaitu penelitian dan pengumpulan data, perencanaan, dan pengembangan produk awal. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pedoman wawancara dan kuesioner. Teknik analisis data dilakukan dengan menghitung persentase jawaban kuesioner validator.

Karakteristik alat penghasil biogas yang telah dikembangkan yaitu menggunakan galon 5 liter sebagai reaktor, menggunakan selang u berisi air berwarna sebagai manometer, botol transparan 400 ml sebagai tabung pemurnian, *urine bag* 1 liter sebagai penampung gas, dan jarum pompa bola sebagai tempat uji nyala api. Hasil validasi uji keberfungsian alat sebesar 98% dengan kriteria sangat tinggi dan valid sehingga dapat disimpulkan bahwa alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan tabung pemurnian hasil pengembangan dapat berfungsi dengan baik.

**Kata kunci :** alat penghasil biogas, biogas, kotoran sapi, pemurnian biogas

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF A TOOL FOR PRODUCING BIOGAS FROM COW DUNG EQUIPPED WITH A PURIFICATION TUBE AS A LEARNING MEDIA FOR CLASS X CHEMISTRY PRACTICUM**

**By**

**KHOMSATUN MUCHLISOH**

This research aims to develop a biogas producing tool equipped with a purification tube, as well as describing the characteristics and functionality of the tool developed. The method used in this study is research and development (R&D) according to Borg & Gall which is carried out until the third stage of ten stages, namely research and data collection, planning, and initial product development. The instruments used in this study consisted of interview guidelines and questionnaires. The data analysis technique was carried out by calculating the percentage of validator questionnaire answers.

The characteristics of the biogas generator that has been developed are using a 5 liter gallon as a reactor, using a u-hose filled with colored water as a manometer, a 400 ml transparent bottle as a purification tube, a 1 liter urine bag as a gas container, and a ball pump needle as a place to test the flame. The validation results of the tool functionality test were 98% with very high and valid criteria so it can be concluded that the tool for producing biogas from cow dung equipped with a purification tube that was developed can function.

**Keywords :** biogas generator, biogas, biogas purification, cow dung

Judul Skripsi : **PENGEMBANGAN ALAT PENGHASIL  
BIOGAS DARI KOTORAN SAPI  
DILENGKAPI DENGAN TABUNG  
PEMURNIAN SEBAGAI MEDIA  
PEMBELAJARAN UNTUK PRAKTIKUM  
KIMIA KELAS X**

Nama Mahasiswa : **Khomsatun Muchlisoh**

No. Pokok Mahasiswa : 2013023015

Program Studi : Pendidikan Kimia

Jurusan : Pendidikan MIPA

Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan



**Dr. Noor Fadiawati, M.Si.**  
NIP 19660824 199111 2 001

**Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si.**  
NIP 19660824 199111 2 002

**2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA**

**Dr. Nurhanurawati, M.Pd.**  
NIP 19670808 199103 2 001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

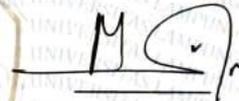
Ketua : **Dr. Noor Fadiawati, M.Si.**



Sekretaris : **Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si.**



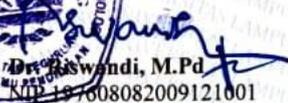
Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. M. Setyarini, M.Si.**



2. PLT Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



**Dr. Aguswandi, M.Pd.**  
NIP. 197608082009121001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **21 Januari 2025**

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khomsatun Muchlisoh

NPM : 2013023015

Fakultas/Jurusan : KIP/Pendidikan MIPA

Program Studi : Pendidikan Kimia

Alamat : Wonodadi Utara, Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten  
Pringsewu

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandar Lampung, 21 Januari 2025



Khomsatun Muchlisoh  
2013023015

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis lahir di Pringsewu pada tanggal 24 April 2003, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak M. Tal'is dan Ibu Rumiasih. Pendidikan formal diawali pada tahun 2009 di Sekolah Dasar Negeri 6 Wonodadi dan lulus pada tahun 2015. Tahun 2015 melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Gadingrejo dan lulus pada tahun 2018, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Gadingrejo dan diselesaikan pada tahun 2020.

Pada tahun 2020 terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa aktif dalam unit kegiatan mahasiswa yaitu Forum Silaturahmi Mahasiswa Pendidikan Kimia (FOSMAKI). Tahun 2023 mengikuti Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) yang terintegrasi dengan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di SMAN 2 Negara Batin, Kecamatan Negara Batin, Kabupaten Way Kanan.

## **PERSEMBAHAN**

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang  
Dengan penuh rasa syukur kepada-Nya, kupersembahkan karya ini kepada:

### **Bapak dan Mamak**

Teruntuk Bapak yang telah di sisi-Nya, terima kasih atas kasih sayang yang hanya dapat dikenang. Seluruh kebaikanmu saat hidup memberikan kontribusi nyata hingga skripsi ini selesai. Teruntuk Mamak tercinta, terima kasih telah mengiringi doa di setiap perjalanan, terima kasih atas kelembutan dan keikhlasannya, terima kasih telah mengusahakan dan memperjuangkan segalanya. Semoga Allah selalu memberikan kebaikan dan penjagaan untuk Mamak.

### **Kakak dan Adik**

Yang selalu memberi doa, memberi dukungan, dan memberi semangat. Terima kasih sudah turut serta memperjuangkan kehidupan untuk anak ketiga ini. Semoga Allah selalu memberi kalian kebahagiaan.

## **MOTTO**

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu,  
dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan melewatkanmu”  
(Umar bin Khattab)

“Untuk sesuatu yang baik, harus didapat dengan cara yang baik”

## SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi Dilengkapi dengan Tabung Pemurnian sebagai Media Pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pendidikan.

Pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Riswandi, M.Pd selaku PLT Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung;
2. Ibu Dr. Nurhanurawati, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
3. Ibu Dr. M. Setyarini, M.Si., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Kimia dan selaku Pembahas untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyusunan skripsi;
4. Ibu Dr. Noor Fadiawati, M.Si., selaku Pembimbing I dan Pembimbing akademik atas perhatian, keikhlasan, dan kesabarannya dalam memberikan ilmu, bimbingan, saran, dan kritik dalam proses perbaikan serta penyelesaian skripsi ini;
5. Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si., selaku pembimbing II atas kesediaannya dalam memberi bimbingan, masukan, kritik, dan saran.
6. Ibu Dra. Nina Kadaritna, M.Si., selaku validator atas kesediaannya untuk memberikan validasi terhadap alat penghasil biogas yang dikembangkan, memberikan saran dan kritik serta dukungan dalam pembuatan skripsi,
7. Bapak Mohammad Ahdiat, S.Pd., M.PKim., selaku validator atas kesediaannya untuk memberikan validasi terhadap alat penghasil biogas yang dikembangkan, memberikan saran dan kritik serta dukungan dalam pembuatan skripsi,

8. Ibu Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku validator atas kesediaannya untuk memberikan validasi terhadap alat penghasil biogas yang dikembangkan, memberikan saran dan kritik serta dukungan dalam pembuatan skripsi;
9. Dosen-dosen Program Studi Pendidikan Kimia dan segenap civitas akademik Jurusan Pendidikan MIPA;
10. Ibu, kakak, dan adikku tercinta, atas kasih sayang, dukungan, dan doa yang tiada hentinya;
11. Saudara perempuanku, Salsa, Zulfa, Ajeng, Aura, Nanda, Icha, Nisa, dan Isel atas doa, bantuan, dan dukungan sejak masa sekolah hingga perkuliahan;
12. Sahabat terbaikku, Anggun, Inge, Dini, Bella, Yuyun, Athifah, Mba Aul, dan Regita atas kehadirannya dalam bentuk doa, dukungan, penyediaan waktu, dan tenaga di setiap perjalanan suka dan dukanya perkuliahan;
13. Teman seperjuanganku, Alvina dan Mulyawan atas kerja sama dan bantuannya selama penyusunan skripsi ini;
14. Teman-teman Pendidikan Kimia 2020 yang saling membantu dan memotivasi selama perkuliahan;
15. Segala pihak yang terlibat dalam pembuatan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas segala dukungan, kritik dan saran yang telah diberikan.

Akhir kata penulis berharap semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penulisan skripsi ini, Aamiiinn.

Bandar Lampung, 21 Januari 2025

Penulis,

Khomsatun Muchlisoh

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Ruang Lingkup.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
A. Biogas .....	5
B. Kotoran Sapi .....	8
C. Biodigester .....	9
D. Alat Praktikum.....	14
E. Penelitian Yang Relevan.....	15
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
A. Metode Penelitian .....	18
B. Alur Pengembangan.....	18
1. Penelitian dan pengumpulan data .....	20
2. Perencanaan .....	20
3. Pengembangan produk awal .....	21
C. Subjek dan Lokasi Penelitian.....	23
D. Sumber Data .....	23

E. Instrumen Penelitian .....	23
F. Teknik Pengumpulan Data.....	24
G. Analisis Data .....	25
<b>IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>28</b>
A. Penelitian dan Pengumpulan Data.....	28
B. Perencanaan .....	29
C. Pengembangan Produk Awal.....	34
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>45</b>
A. Simpulan.....	45
B. Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
1. Hasil validasi desain (validator 1) .....	52
2. Hasil validasi desain (validator 2) .....	55
3. Hasil validasi desain (validator 3) .....	58
4. Rekapitulasi hasil validasi desain.....	61
5. Petunjuk penggunaan alat.....	62
6. Penuntun Praktikum .....	66
7. Hasil validasi uji keberfungsian (validator 1) .....	71
8. Hasil validasi uji keberfungsian (validator 2) .....	75
9. Hasil validasi uji keberfungsian (validator 3) .....	79
10. Rekapitulasi hasil validasi uji keberfungsian .....	83
11. Dokumentasi kegiatan percobaan.....	84

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kelebihan dan kekurangan digester jenis <i>fixed dome</i> (kubah tetap) .....	11
2. Penskoran pada kuesioner berdasarkan skala Likert.....	25
3. Pengolahan jumlah skor ( $\Sigma$ ) jawaban kuesioner.....	25
4. Tafsiran skor (persentase) kuesioner.....	26
5. Kriteria validasi .....	27

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi pembentukan biogas .....	7
2. Digester jenis <i>fixed dome</i> (kubah tetap) .....	11
3. Digester jenis <i>floating dome</i> .....	12
4. Digester jenis <i>ballon plant</i> .....	13
5. Digester jenis <i>plug flow</i> .....	13
6. Model biodigester Subarjo dan Widodo .....	16
7. Biodigester Takala, et al.....	17
8. Miniatur reaktor Sari dkk. ....	17
9. Alur pengembangan alat penghasil biogas.....	19
10. Desain alat penghasil biogas dengan tabung pemurnian.....	30
11. Desain hasil revisi alat penghasil biogas dengan tabung pemurnian .....	31
12. Desain hasil revisi kedua alat penghasil biogas dengan tabung pemurnian....	32
13. Diagram persentase hasil validasi desain.....	33
14. Alat penghasil biogas dengan tabung pemurnian sesuai desain tervalidasi....	34
15. Alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi tabung pemurnian .....	36
16. Hasil percobaan pembuatan biogas (a) hari pertama (b) hari ke-10 .....	37
17. Endapan pada tabung pemurnian (a) hari ke-3 (b) hari ke-10 .....	39
18. Foto uji nyala api.....	40
19. Diagram persentase hasil uji keberfungsian.....	40
20. Alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi tabung pemurnian hasil revisi uji validasi, (a) tampak depan, (b) tampak samping .....	44

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Persoalan energi merupakan persoalan yang krusial di dunia. Peningkatan permintaan energi terus meningkat akibat pertumbuhan populasi penduduk, perkembangan industri, dan peningkatan standar hidup (Logayah *et al.*, 2023). Saat ini sebagian besar penggunaan energi masih bergantung pada bahan bakar berbasis fosil yang semakin lama akan semakin menipis sumbernya. Sumber daya fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara adalah sumber daya terbatas yang akan habis pada suatu saat (Arifin & Irsyad, 2021). Ketergantungan pada sumber daya fosil yang terbatas dapat mengarah pada kelangkaan energi di masa depan (Alim dkk., 2023).

Upaya dalam mengatasi kelangkaan energi telah banyak dilakukan, seperti peningkatan efisiensi energi, penghematan energi, serta penerapan sumber energi terbarukan (Stancin *et al.*, 2020). Beberapa negara menganggap bahwa energi terbarukan merupakan puncak strategis yang efektif untuk mengatasi permasalahan kelangkaan energi ini (Li *et al.*, 2022). Energi terbarukan mencakup energi matahari, energi angin, bioenergi, panas bumi, tenaga air, dan energi laut (Halkos & Gkampoura, 2020). Pemanfaatan sumber energi terbarukan ini akan menuju produksi energi yang terus berkelanjutan (Ansari *et al.*, 2021).

Permasalahan global terkait kelangkaan energi merupakan permasalahan yang genting dan perlu adanya kesadaran dari semua individu mulai sedini mungkin. Menanggapi hal ini pemerintah Indonesia meresponnya dengan memasukkan isu permasalahan global ke dalam kurikulum yang terbaru yakni kurikulum merdeka. Capaian pembelajaran kurikulum merdeka pada mata pelajaran kimia fase E adalah peserta didik memiliki kemampuan untuk merespon isu-isu global dan

berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah (Kemendikbudristek BSKAP, 2022). Agar tercapainya capaian pembelajaran terkait topik permasalahan kelangkaan energi, siswa tidak cukup hanya diberikan pengetahuan berupa teori saja, melainkan siswa perlu dihadapkan bagaimana mereka memanfaatkan sumber energi terbarukan melalui sebuah praktikum.

Berdasarkan hasil studi lapangan yang dilakukan dengan mewawancarai guru kimia di SMAN 14 Bandar Lampung, SMAN 1 Gedong Tataan, dan SMAN 2 Gadingrejo diperoleh bahwa dalam mempelajari topik kelangkaan energi, ketiga sekolah tersebut belum melakukan praktikum. Pembelajaran biasanya hanya dilakukan melalui teori, pemberian tugas, atau hanya memperkenalkan lingkungan sekitar. Salah satu kendala tidak dilakukannya praktikum karena belum ada alat yang menunjang kegiatan praktikum tersebut.

Setiap kegiatan praktikum pasti memerlukan alat praktikum yang didesain sesuai dengan kebutuhan. Namun untuk praktikum pemanfaatan sumber energi terbarukan belum ada alat yang sesuai untuk digunakan di sekolah. Hal ini karena alat yang umumnya digunakan masyarakat untuk mengolah energi terbarukan memiliki ukuran yang besar, membutuhkan bahan yang banyak, dan biaya yang relatif mahal, sedangkan untuk kegiatan di sekolah diperlukan alat yang ukurannya relatif dalam skala laboratorium, aman digunakan, dan biaya yang ekonomis. Oleh karena itu perlu pengembangan alat yang tepat untuk dijadikan alat praktikum di sekolah dan tentunya memenuhi syarat alat laboratorium.

Beberapa peneliti telah mengembangkan alat yang dapat digunakan untuk menghasilkan biogas, seperti Subarjo dan Widodo (2019) yang merancang biodigester menggunakan drum plastik bekas berkapasitas 200 liter untuk menunjang praktikum mahasiswa serta Takala *et al.* (2019) membuat biodigester portable berukuran 220 liter yang dilengkapi perangkat uap air dan CO<sub>2</sub>. Alat hasil pengembangan ini telah berhasil menghasilkan biogas, tetapi alat ini belum cocok untuk digunakan di sekolah karena ukurannya masih terlalu besar. Adapun pengembangan alat yang dilakukan oleh Sari dkk. (2023) telah membuat reaktor biogas yang lebih kecil dengan memanfaatkan galon berukuran 19 liter. Alat yang dikembangkan sudah memiliki ukuran yang lebih kecil, namun belum ada sistem

pemurnian di reaktor biogas ini. Tingginya kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas perlu dihilangkan karena dapat mengganggu proses pembakaran serta mengurangi nilai kalor pada biogas. Oleh karena itu perlu adanya proses pemurnian biogas untuk menghasilkan biogas yang lebih berkualitas. Namun sampai saat ini belum ada alat penghasil biogas berukuran skala laboratorium sekolah yang dilengkapi dengan tabung pemurnian untuk mengurangi kadar CO<sub>2</sub> pada biogas.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian yang berjudul “Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi Dilengkapi dengan Tabung Pemurnian Sebagai Media Pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X”.

### **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam pengembangan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik alat penghasil biogas dari kotoran sapi dengan tabung pemurnian yang dikembangkan?
2. Bagaimana keberfungsian tiap komponen alat penghasil biogas dari kotoran sapi dengan tabung pemurnian yang dikembangkan?

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dilakukannya pengembangan ini adalah sebagai berikut :

1. Mengembangkan alat penghasil biogas dari kotoran sapi dengan tabung pemurnian.
2. Mendeskripsikan keberfungsian tiap komponen alat penghasil biogas dari kotoran sapi dengan tabung pemurnian yang dikembangkan.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Dilakukannya pengembangan alat penghasil biogas dari kotoran sapi skala laboratorium dengan tabung pemurnian diharapkan dapat bermanfaat bagi :

1. Guru

Adanya alat penghasil biogas dari kotoran sapi skala laboratorium diharapkan dapat membantu guru dalam menyiapkan alat praktikum untuk menunjang kegiatan praktikum penghasil biogas.

2. Siswa

Adanya alat penghasil biogas membantu siswa untuk melakukan praktikum serta memudahkan siswa untuk mencapai capaian pembelajaran.

3. Sekolah

Adanya alat penghasil biogas akan menambah sarana praktikum di sekolah dalam upaya meningkatkan mutu dan kualitas pendidikan terutama pada pembelajaran kimia di sekolah.

#### **E. Ruang Lingkup**

Adapun ruang lingkup pengembangan ini adalah :

1. Alat yang dikembangkan adalah alat penghasil biogas dari kotoran sapi skala laboratorium sekolah dilengkapi dengan tabung pemurnian untuk mengurangi kadar CO<sub>2</sub>.
2. Jenis biodigester yang dikembangkan termasuk dalam jenis biodigester *fixed dome*, yaitu biodigester yang reaktornya memiliki volume tetap.
3. Cara pengoperasionalan pengisian bahan baku menggunakan tipe *batch*, dimana pengisian bahan dilakukan sekali pada awal produksi hingga selesainya proses penguraian.
4. Alat dinyatakan berfungsi jika hasil uji keberfungsian berkriteria minimal cukup valid.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk di antaranya; kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), serta sampah biodegradable. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Kandungan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) pada biogas cukup tinggi dan nilai kalornya berkisar antara 4.800-6.700 kkal/m<sup>3</sup> (Wardana dkk., 2021). Hal ini membuat biogas berpotensi menjadi sumber energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Suyitno dkk., 2010).

Proses penguraian bahan-bahan organik menjadi biogas bisa terjadi karena adanya bantuan mikroorganisme pada keadaan anaerob. Biogas dihasilkan dengan bantuan bakteri metanogen yang terdapat dalam limbah organik. Secara umum biogas diproduksi melalui alat yang dirancang agar kedap udara yang disebut reaktor biogas (biodigester). Biogas mulai terbentuk pada hari ke 4-5 setelah biodigester terisi dan mencapai maksimum pada hari ke 20-25 (Salim & Kafiar, 2017). Biogas yang dihasilkan terdiri dari gas metana ( $\text{CH}_4$ ) 50-70%, gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) 30-40%, gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) 5-10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah sedikit (Wahyuni, 2013).

Menurut Simamora & Salundik, 2006, beberapa hal yang harus diperhatikan dalam produksi biogas diantaranya :

1. Kondisi digester harus anaerob
2. Bahan baku

Bahan baku berasal dari bahan organik seperti kotoran ternak, limbah pertanian, dan limbah organik. Komposisi bahan baku harus mengandung bahan

kering sekitar 7-9%. Keadaan tersebut dapat dicapai dengan pengenceran menggunakan air yang perbandingannya 1:1 (bahan baku:air).

### 3. pH

pH sangat berpengaruh terhadap mikroorganisme. PH yang baik untuk kehidupan mikroorganisme yaitu sekitar 6,5-7,5.

### 4. Suhu

Pada suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah bakteri metanogenik tidak aktif sehingga akan menghambat produksi biogas. Suhu yang baik untuk produksi biogas kisaran 25<sup>0</sup>C-30<sup>0</sup>C. Selain itu, jika suhu terlalu tinggi akan menyebabkan digester mudah mengalami kerusakan.

### 5. Pengadukan

Pada proses produksi biogas pengadukan dilakukan untuk menghomogenkan bahan baku pembuatan biogas. Pengadukan dilakukan sebelum bahan tersebut dimasukkan ke dalam digester dan setelah berada di dalam digester. Selain untuk mencampur bahan, pengadukkan juga berfungsi untuk mencegah ter-jadinya pengendapan di dasar digester yang dapat menghambat pembentukan biogas.

Menurut Wahyuni (2011) secara umum proses pembentukan biogas adalah sebagai berikut :



Menurut Salim & Kafiari (2017), produksi biogas terdiri dari 3 tahap yaitu hidrolisis, asidifikasi, dan metanogenesis.

#### 1. Tahap Hidrolisis

Pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik yang mudah larut atau pemutusan senyawa rantai panjang seperti karbohidrat, protein, dan lemak menjadi senyawa rantai pendek. Tahap ini juga disebut sebagai perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer.

#### 2. Tahap Asidifikasi

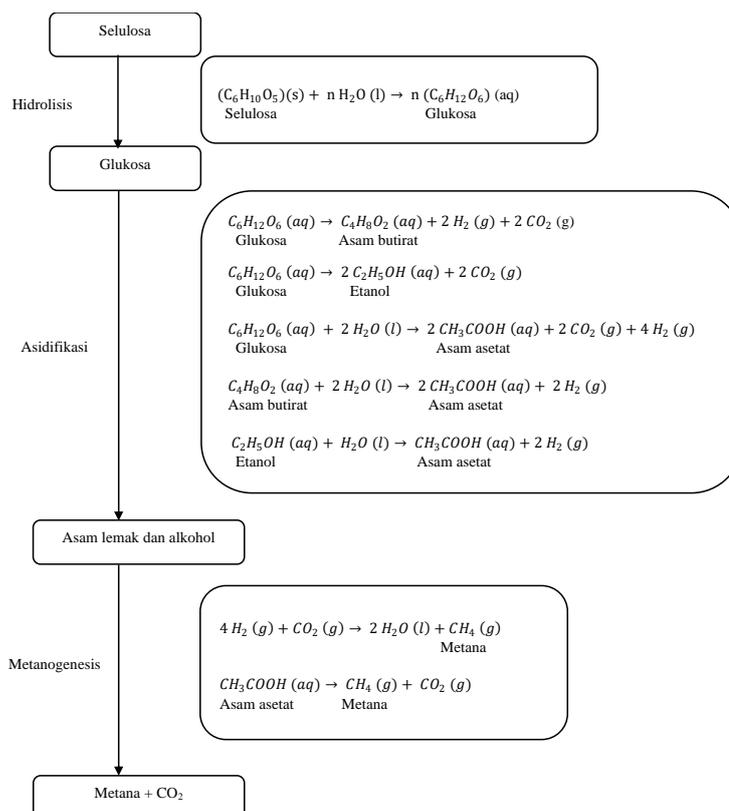
Pada tahap ini, bakteri (*Acetobacter aceti*) menghasilkan asam untuk mengubah senyawa rantai pendek hasil proses hidrolisis menjadi asam asetat,

hidrogen, dan karbon dioksida. Bakteri tersebut merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh dan berkembang dalam keadaan asam. Bakteri memerlukan oksigen dan karbon dioksida yang diperoleh dari oksigen yang terlarut untuk menghasilkan asam asetat. Pembentukan asam pada kondisi anaerobik tersebut penting untuk pembentukan gas metana oleh mikroorganisme pada proses selanjutnya. Selain itu bakteri tersebut juga mengubah senyawa berantai pendek menjadi alkohol, asam organik, asam amino, karbon dioksida, hidrogen sulfida, dan sedikit gas metana. Tahap ini termasuk reaksi eksotermis yang menghasilkan energi.

### 3. Tahap *Methanogenesis*

Pada tahap ini, bakteri *Methanobacterium omelianski* mengubah senyawa hasil proses asidifikasi menjadi metana dan CO<sub>2</sub> dalam kondisi anaerob. Proses pembentukan gas metana ini termasuk reaksi eksotermis.

Reaksi kimia yang terjadi pada proses produksi biogas hingga menghasilkan metana dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi pembentukan biogas (Haryati, 2006)

Energi yang dihasilkan dari biogas bergantung pada konsentrasi gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Semakin banyak kandungan gas metana maka kandungan energi pada biogas akan semakin besar. Sebaliknya semakin sedikit kandungan gas metana maka energi pada biogas akan semakin kecil (Semin dkk., 2014). Biogas yang mengandung gas pengotor seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dengan konsentrasi yang tinggi dapat mengakibatkan penurunan nilai panas (Iriyani & Heryadi, 2014). Adapun cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas panas yang dihasilkan biogas yaitu dengan menghilangkan  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{CO}_2$ .

Biogas memiliki ciri tidak berbau, tidak berwarna, jika dibakar akan menghasilkan nyala api berwarna biru cerah seperti gas LPG, memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara dan memiliki nilai panas pembakaran antara 4800-6700 kkal/ $\text{m}^3$ . Nilai panas pembakaran tersebut sedikit lebih rendah dari nilai pembakaran gas metana murni yang mencapai 8900 kkal/ $\text{m}^3$  (Mara, 2012).

## **B. Kotoran Sapi**

Kotoran sapi merupakan limbah yang dihasilkan sapi. Kotoran sapi terdiri dari cairan sapi, urin sapi, dan sisa pakan sapi yang mengandung nitrogen yang tinggi. Kotoran sapi mempunyai warna yang bervariasi dari kehijauan hingga kehitaman, tergantung makanan yang dikonsumsi. Setelah terpapar udara, warna dari kotoran sapi lebih cenderung menjadi gelap atau kehitaman (Melsasail dkk., 2019). Setiap harinya satu ekor sapi bisa menghasilkan kotoran antara 8 sampai 10 kg. Jika sapi yang dipelihara jumlahnya banyak dan tanpa pemeliharaan yang baik maka kotoran sapi akan mengganggu dan mengotori lingkungan. Selain itu juga sangat berpotensi untuk menimbulkan penyakit bagi masyarakat sekitar (Saidi dkk., 2022).

Kotoran sapi jika diolah dengan tepat bisa dimanfaatkan sebagai biogas. Kotoran sapi tersusun atas 22,59% selulosa, 18,32% hemiselulosa, 10,20% lignin, 34,72% total karbon organik, 1,26% total nitrogen, 0,37% fosfor dan 0,68% kalium (Sukmana & Muljatingrum, 2011). Di dalamnya juga terdapat bakteri dan mikroorganisme seperti *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*,

*Enterobacteriaceae (E. Coli)*, dan *Ruminococcus* (Alfa *et al.*, 2014). Bakteri-bakteri ini dapat mencerna bahan organik dalam kotoran sapi dan menghasilkan biogas. Susunan kotoran sapi dapat dinyatakan dengan rasio C/N yang menyatakan hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terkandung dalam bahan organik. Jika C/N terlalu tinggi, nitrogen akan dengan cepat dikonsumsi oleh bakteri yang memecah nitrogen untuk memenuhi kebutuhan mereka dan hanya sejumlah kecil yang menghancurkan karbon menjadi gas yang akhirnya berubah menjadi limbah. Di sisi lain, jika C/N rendah, nitrogen akan larut dan bereaksi menjadi ammonia ( $\text{NH}_4$ ), yang dapat meningkatkan pH. Jika pH lebih tinggi dari 8,5 itu akan mengakibatkan dampak merugikan pada populasi bakteri metanogen. Rasio C/N yang optimum dalam digester anaerob adalah 20-30 (Verma, 2002). Rasio C/N pada kotoran sapi memenuhi persyaratan bahan baku produksi biogas yaitu sebesar 24. Kotoran sapi sebanyak 1 kg dapat menghasilkan 0,023-0,040 m<sup>3</sup> biogas. Dengan jumlah produksi tersebut, kotoran sapi sangat potensial untuk memproduksi biogas dalam jumlah besar. (Wahyuni, 2008).

Pemanfaatan kotoran sapi selain untuk dijadikan biogas dapat juga dijadikan sebagai pupuk. Kandungan unsur hara yang tinggi pada kotoran sapi merupakan prospek yang bagus untuk dijadikan pupuk organik. Penggunaan pupuk kotoran sapi merupakan salah satu cara dalam mengaplikasikan teknologi pertanian organik yang berkelanjutan serta berwawasan lingkungan. Selain itu pupuk kotoran sapi dapat memberikan manfaat dalam menyediakan unsur hara makro maupun unsur hara mikro bagi tanaman, dapat memperbaiki struktur tanah, menggemburkan tanah, sehingga mempermudah pertumbuhan akar pada tanaman dalam penyerapan unsur dan hara (Efendi dkk., 2017).

### **C. Biodigester**

Biodigester adalah alat yang digunakan untuk mengurai sampah atau limbah organik melalui fermentasi dalam keadaan anaerob. Prinsip kerja biodigester yaitu menempatkan bahan organik di tempat penampungan pada kondisi kedap udara sehingga bahan organik dapat difermentasi oleh bakteri metanogen dan

menghasilkan biogas. Biogas yang dihasilkan kemudian dialirkan ke tempat penampungan biogas, sedangkan sisa aktivitas fermentasi dapat dimanfaatkan sebagai pupuk alami untuk usaha pertanian atau perkebunan (Arindya, 2018).

Komponen biodigester sangat beragam dan bervariasi, tergantung pada jenis biodigester yang digunakan dan tujuan pembangunannya. Namun secara umum biodigester terdiri dari empat komponen utama yaitu:

1. Saluran masuk slurry

Saluran ini digunakan untuk memasukkan slurry (campuran kotoran ternak dan air) ke dalam biodigester. Tujuan pencampuran kotoran ternak dengan air adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengalirnya bahan baku, dan menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *digestion* (ruang fermentasi)

Ruangan *digestion* adalah ruang yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pencernaan atau fermentasi bahan organik. Ruangan ini bersifat kedap udara.

3. Saluran keluar residu (*sludge*)

Saluran ini berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami proses *digestion* oleh bakteri. Residu yang keluar ini sangat baik untuk dijadikan pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

4. Tangki penyimpan biogas

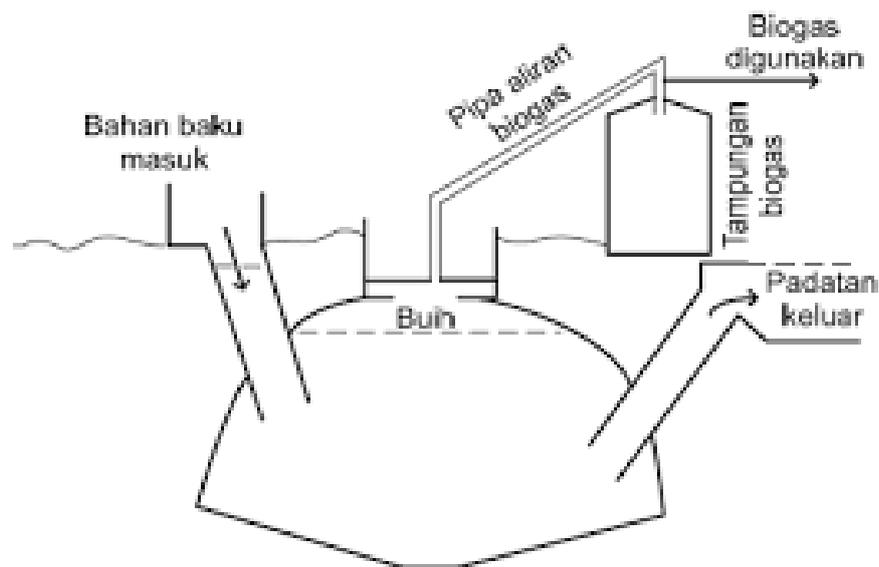
Tujuan dari tangki penyimpan gas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses *digestion*. Terdapat dua jenis tangki penyimpanan biogas, yaitu terpisah dengan reaktor atau bersatu dengan unit reaktor (Suyitno dkk., 2010).

Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dibedakan berdasarkan konstruksi digester, cara operasionalnya (pengisian bahan baku), serta dari segi tata letak penempatan digester. Jenis digester yang dipilih dapat disesuaikan dengan tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang penting dari jenis digester yang dipilih nantinya adalah mampu menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan  $\text{CH}_4$  yang tinggi (Suyitno dkk., 2010).

Berdasarkan konstruksinya, digester dibedakan menjadi:

1. *Fixed dome* (kubah tetap)

Digester jenis *fixed dome* ini memiliki volume yang tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam reaktor (biodigester). Oleh karena itu dalam konstruksi biodigester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor (Suyitno dkk, 2010). Untuk skema digester jenis *fixed dome* (kubah tetap) dapat dilihat pada Gambar 2. Tabel 1 adalah tabel kelebihan dan kekurangan digester jenis *fixed dome* (kubah tetap).



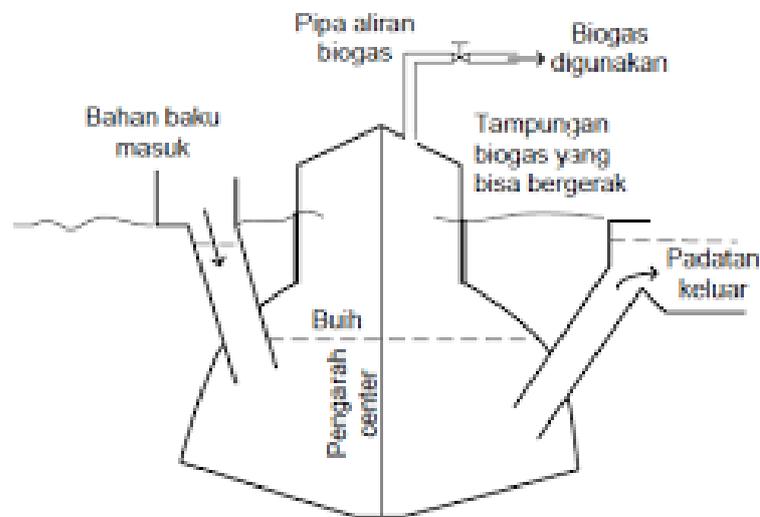
Gambar 2. Digester jenis *fixed dome* (kubah tetap) (Sasse, 1988)

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan digester jenis *fixed dome* (kubah tetap)

Kelebihan	Kekurangan
1. Sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah. 2. Biaya konstruksinya murah. 3. Dapat berasal dari material yang tahan karat. 4. Awet. 5. Dapat ditanam di dalam tanah sehingga menghemat tempat.	1. Bagian dalam reaktor yang dibuat di dalam tanah tidak terlihat sehingga jika terjadi kebocoran tidak segera terdeteksi. 2. Tekanan gas berfluktuasi 3. Temperatur digester rendah.

## 2. *Floating dome* (kubah apung).

Pada digester jenis ini terdapat bagian reaktor yang dapat bergerak ketika terjadi kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan indikasi bahwa produksi biogas sudah dimulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak atau kubah juga memiliki fungsi sebagai tempat pengumpul biogas. Dengan model ini, kelemahan tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan biogas dapat dijaga konstan. Namun untuk membangun digester ini dibutuhkan ketrampilan khusus untuk membuat tampungan gas yang dapat bergerak. Selain itu material dari tampungan biogas yang dapat bergerak harus dipilih dari material yang tahan korosi serta harganya cenderung lebih mahal (Suyitno dkk, 2010). Skema digester jenis *floating dome* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Digester jenis *floating dome* (Sasse, 1988)

## 3. *Balloon plant* (balon)

Digester tipe balon merupakan jenis digester yang banyak digunakan pada skala rumah tangga. Digester ini biasanya menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Konstruksi dari digester ini sederhana, yang terbuat dari plastik yang pada ujung-ujungnya dipasang pipa masuk untuk kotoran ternak dan pipa keluar peluapan slurry, sedangkan pada bagian atas dipasang pipa keluar gas. Digester ini terdiri dari suatu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing-masing bercampur dalam suatu ruangan tanpa sekat

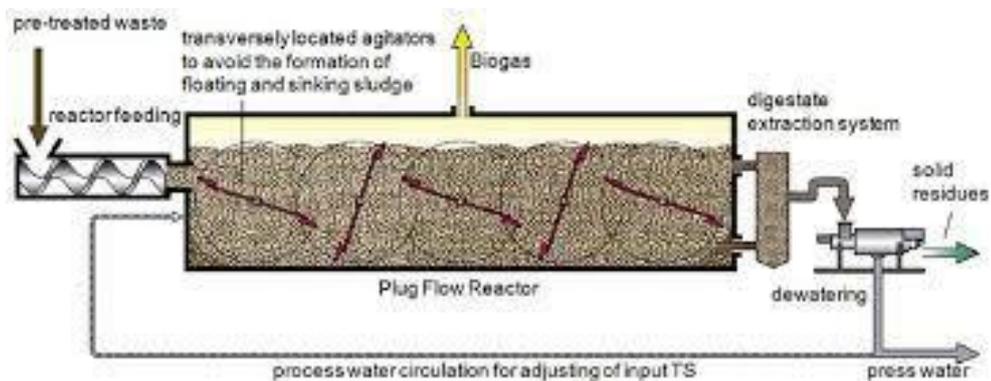
(Prihatiningtyas dkk., 2019). Skema digester jenis *balloon plant* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Digester jenis *ballon plant* (Bodhe *et al.*, 2023)

#### 4. *Plug flow*

Digester jenis ini hampir sama dengan tipe *balloon plant*, yang membedakan yaitu jenis *plug flow* terbuat dari pipa polivinil klorida (PVC) yang ujung-ujungnya dipasang suatu wadah untuk memasukkan dan mengeluarkan kotoran. Kelebihan *plug flow* adalah praktis, konstruksi lebih mudah, dan biaya murah. Kekurangannya yaitu tidak begitu besar sehingga biasanya dipakai dalam skala kecil (Prihatiningtyas dkk., 2019). Skema digester jenis *plug flow* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Digester jenis *plug flow* (Prihatiningtyas dkk., 2019)

Ditinjau dari cara operasionalnya (pengisian bahan baku), digester dibedakan menjadi:

##### 1. *Batch*

Pada tipe *batch*, bahan dimasukkan sekali dalam biodigester hingga selesainya proses *digestion*. Apabila produksi biogas yang dihasilkan telah menurun,

maka bahan yang telah diproses dikeluarkan kemudian diganti dengan yang baru (Fattah dkk., 2022).

## 2. *Continue*

Untuk biodigester jenis *continue*, bahan baku dimasukkan ke dalam digester dan residu akan keluar dari digester pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor digester disebut waktu retensi (*retention time/RT*) (Suyitno dkk, 2010).

Sementara dari segi tata letak penempatan biodigester, dibagi menjadi:

### 1. Seluruh biodigester di permukaan tanah

Biodigester di permukaan tanah ini biasanya berasal dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Tipe ini memiliki kelemahan dimana volume digester yang kecil dan kualitas material yang rendah untuk menahan korosi dari biogas yang dihasilkan.

### 2. Sebagian tangki biodigester di bawah permukaan tanah

Biasanya biodigester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumuran dan ditutup dari plat baja. Volume tangki dapat diperbesar atau diperkecil sesuai dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke dalam bahan isian, sehingga menghambat proses produksi.

### 3. Seluruh tangki biodigester di bawah permukaan tanah

Model ini merupakan model biodigester yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi biodigester ditanam di dalam tanah dengan konstruksi yang permanen, yang membuat suhu biodigester stabil dan mendukung perkembangan bakteri metanogen (Prihatiningtyas dkk., 2019).

## **D. Alat Praktikum**

Alat praktikum merupakan sarana berupa benda yang dapat membantu atau dapat digunakan dalam kegiatan praktikum. Alat praktikum atau dapat juga disebut alat peraga praktik (APP) perlu dikembangkan agar kegiatan praktikum tetap dapat terlaksana. Menurut Tim Penyusun (2011), pentingnya pengembangan APP IPA

sederhana bagi guru atau sekolah yaitu sebagai upaya untuk melengkapi peralatan yang dibutuhkan dalam pembelajaran. Selain itu, APP IPA sederhana ini dapat dijadikan sebagai alternatif peralatan laboratorium, meningkatkan kreativitas guru dan siswa, sebagai upaya meragamkan sumber belajar siswa, agar siswa dapat membangun pengetahuan dan keterampilan serta sikap yang sesuai dengan kompetensi yang disarankan dalam kurikulum.

Pengembangan APP IPA sederhana menurut Tim Penyusun (2011) dapat dibuat dalam dua bentuk yaitu sebagai berikut:

- a. Padanan alat, yaitu alat yang dibuat dengan mengacu pada contoh alat yang sudah ada (alat praktik, alat peraga, alat pendukung) di laboratorium IPA.
- b. Prototip, yaitu alat baru yang sebelumnya tidak ada, atau dapat merupakan pengembangan dari alat yang sudah ada, pernah ada yang membuat, namun kemudian dimodifikasi.

Menurut Tim Penyusun (2011) setidaknya ada 12 kriteria dalam pembuatan APP IPA yang akan dilakukan, kriteria tersebut yaitu sebagai berikut:

- a. Bahan mudah diperoleh
- b. Mudah dalam perancangan dan pembuatannya.
- c. Mudah dalam perakitannya (tidak memerlukan keterampilan khusus).
- d. Mudah dioperasikannya.
- e. Dapat memperjelas/menunjukkan konsep dengan lebih baik.
- f. Dapat meningkatkan motivasi peserta didik.
- g. Akurasi cukup bisa diandalkan.
- h. Tidak berbahaya ketika digunakan.
- i. Menarik.
- j. Daya tahan alat cukup baik (lama pakai).
- k. Inovatif dan kreatif.
- l. Bernilai pendidikan.

## **E. Penelitian Yang Relevan**

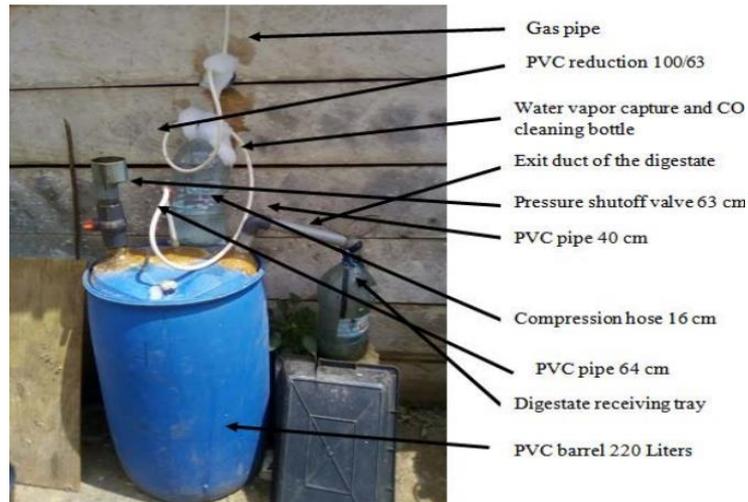
Pengembangan alat penghasil biogas atau biodigester telah banyak dilakukan diantaranya yaitu oleh Subarjo dan Widodo (2019) yang merancang prototip

digester biogas untuk menunjang praktikum mahasiswa. Bahan yang digunakan sebagai reaktornya yaitu drum plastik berukuran 200 liter. Pengembangan biodigester menggunakan drum plastik ini berhasil menjadikannya sebuah prototip alat penghasil biogas yang lebih praktis dibandingkan biodigester yang pada umumnya berukuran sangat besar dan berada dalam galian tanah. Walaupun demikian, drum plastik yang berukuran 200 liter masih terlalu besar jika digunakan untuk praktikum di sekolah sehingga dibutuhkan skala yang lebih kecil lagi. Selain itu prototip ini tidak dilengkapi dengan proses pemurnian biogas sehingga biogas yang dihasilkan masih mengandung  $\text{CO}_2$  yang tinggi dimana  $\text{CO}_2$  merupakan sebuah pengotor yang perlu dihilangkan. Komponen yang terdapat pada alat ini yaitu drum 200 liter sebagai reaktor, pipa input, pipa output, manometer, dan pipa keluarnya gas yang dilengkapi valve. Gambar dari biodigester Subarjo dan Widodo (2019) dapat dilihat pada Gambar 6.



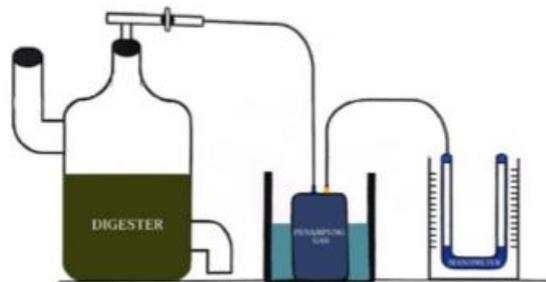
Gambar 6. Model biodigester Subarjo dan Widodo (2019)

Kemudian terdapat pengembangan biodigester oleh Takala, *et al.* (2019) yang bahan reaktornya masih sama yaitu menggunakan drum plastik dengan ukuran 220 liter. Ukuran biodigester ini tentu tidak cocok untuk digunakan di sekolah karena ukurannya yang sangat besar. Namun biodigester ini telah dilengkapi dengan botol berisi air yang bertujuan untuk menangkap uap air dan gas  $\text{CO}_2$ . Adanya botol perangkap ini memungkinkan untuk menghasilkan biogas yang lebih baik karena beberapa pengotor telah dihilangkan. Untuk model dari biodigester Takala dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Biodigester Takala, et al. (2019)

Selanjutnya Sari dkk. (2023) membuat miniatur reaktor biogas dari galon bekas air mineral. Miniatur reaktor biogas ini memiliki ukuran yang kecil sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam eksperimen atau penelitian pada skala kecil, misalnya praktikum di sekolah. Namun kelemahan dari reaktor ini belum dilengkapi dengan tabung pemurnian, sehingga kadar  $\text{CO}_2$  pada biogas masih tinggi dan dapat mengganggu proses pembakaran. Adapun rangkaian dari miniatur reaktor biogas yang dikembangkan Sari dkk. (2023) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Miniatur reaktor Sari dkk. (2023)

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

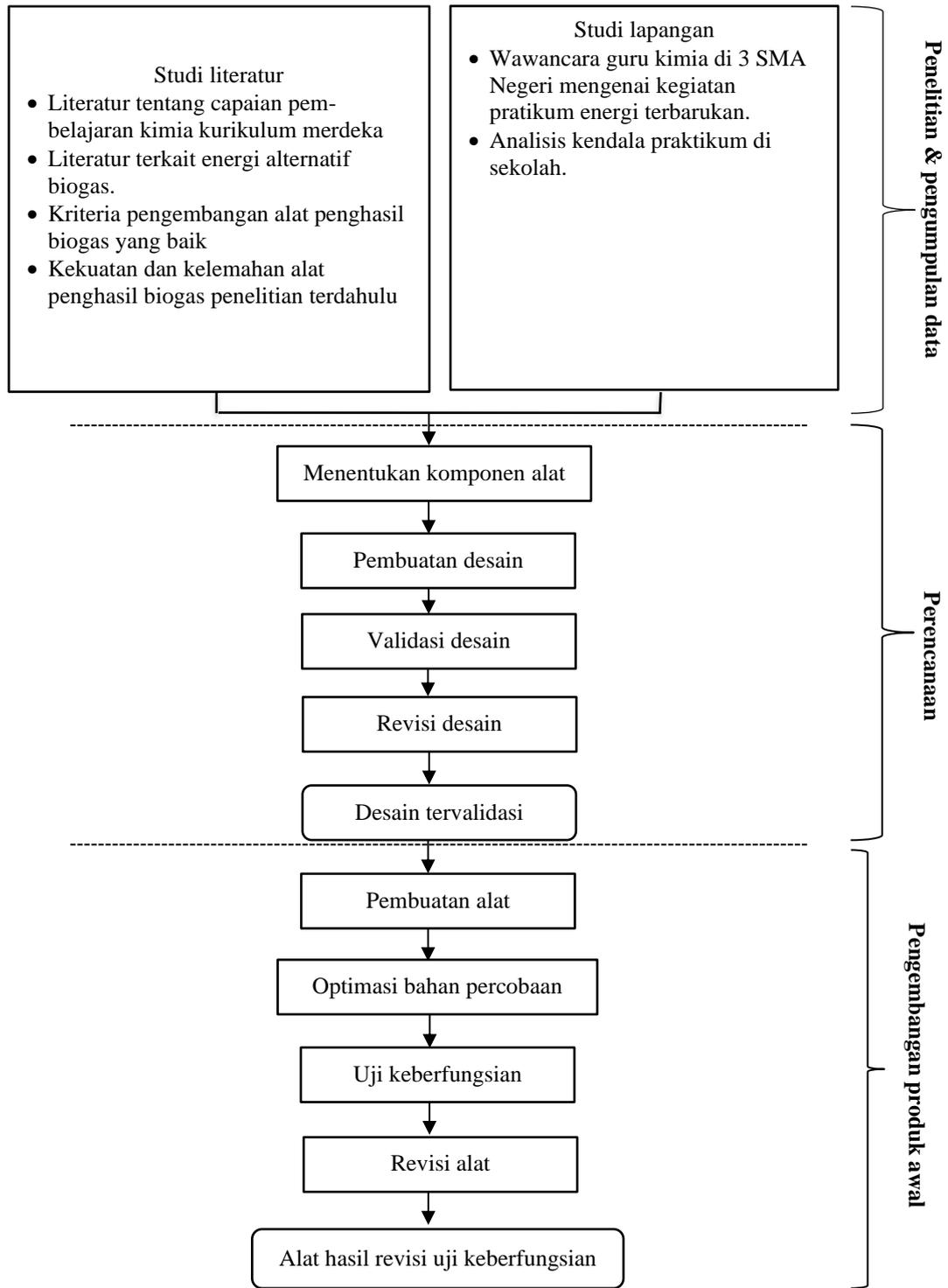
#### **A. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development/R&D*). Terdapat sepuluh langkah dalam pelaksanaan penelitian dan pengembangan, yaitu: (1) penelitian dan pengumpulan data (*research and information collecting*), (2) perencanaan (*planning*), (3) pengembangan produk awal (*develop preliminary form of product*), (4) uji coba lapangan awal (*preliminary field testing*), (5) merevisi hasil uji coba (*main product revision*), (6) uji coba lapangan (*main field testing*), (7) produk hasil uji lapangan (*operasional product revision*), (8) uji pelaksanaan lapangan (*operasional field testing*), (9) penyempurnaan produk akhir (*final product revision*) dan (10) diseminasi dan implementasi (*dissemination and implementation*) (Borg & Gall, 1989).

Pada penelitian ini, tahap yang dilaksanakan hanya sampai tahap ketiga yaitu tahap pengembangan produk awal. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan waktu dan keahlian peneliti untuk melakukan tahap-tahap selanjutnya.

#### **B. Alur Pengembangan**

Alur pengembangan dari penelitian ini dijabarkan pada Gambar 9 yaitu sebagai berikut:



Gambar 9. Alur pengembangan alat penghasil biogas

## 1. Penelitian dan pengumpulan data

Penelitian dan pengumpulan data berguna untuk memperoleh informasi awal dalam melakukan pengembangan. Tahapan ini terdiri dari studi literatur dan studi lapangan.

### a. studi literatur

Studi literatur ditujukan untuk menemukan konsep-konsep atau landasan-landasan teoritis yang memperkuat suatu produk. Hasil dari studi literatur ini akan menjadi acuan dalam pengembangan yang akan dilakukan. Pada studi literatur akan mencari informasi mengenai capaian pembelajaran kimia kurikulum merdeka, informasi terkait energi alternatif biogas, kriteria pengembangan alat penghasil biogas yang baik, serta kekuatan dan kelemahan alat penghasil biogas terdahulu.

### b. studi lapangan

Studi lapangan bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari keadaan di sekolah mengenai informasi awal terkait kegiatan praktikum energi alternatif serta menentukan masalah atau kendala dari praktikum tersebut. Studi lapangan dilakukan di tiga sekolah yaitu SMA Negeri 14 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Gedong Tataan, dan SMA Negeri 2 Gadingrejo. Studi lapangan ini dilakukan dengan wawancara terhadap satu guru kimia pada masing-masing sekolah.

## 2. Perencanaan

### a. menentukan komponen alat

Pada tahap perencanaan akan dilakukan proses pemilihan komponen alat yang akan digunakan. Alat yang akan dibuat merupakan pengembangan alat dari Takala (2019) yang membuat *digester portable* menggunakan drum plastik berukuran 220 liter. Ukuran digester yang dibuat Takala (2019) tentu saja tidak cocok untuk digunakan di sekolah, sehingga peneliti mengembangkan alat yang berukuran skala laboratorium untuk digunakan dalam pembuatan biogas di sekolah. Alat yang akan dikembangkan akan terdiri dari reaktor, tabung pemurnian, penampung gas, dan selang sebagai tempat aliran gas.

Pemilihan komponen dilakukan dengan mempertimbangkan keamanan, kekuatan bahan, biaya, kemudahan dalam memperolehnya, serta ukurannya. Selain itu, ada

yang perlu diperhatikan seperti komponen yang akan dijadikan reaktor harus bersifat kedap udara agar proses pembentukan biogas dapat terjadi. Pemilihan tabung pemurnian menggunakan tabung transparan agar proses pemurnian biogas dapat teramati oleh peserta didik. Kemudian penampungan gas menggunakan bahan yang dapat bergelembung ketika terisi gas sehingga memudahkan untuk mengidentifikasi gas sudah masuk ke penampungan.

#### b. Pembuatan desain

Desain alat praktikum merupakan rancangan dari alat praktikum. Pembuatan desain alat bertujuan untuk memberikan gambaran dari alat yang akan dibuat sehingga mempermudah dalam pengembangan alat yang dilakukan. Dalam pembuatan desain alat disesuaikan dengan komponen serta fungsi komponen alat tersebut. Pembuatan desain alat menggunakan Canva dan Sketch Up.

#### c. Validasi desain

Validasi desain merupakan proses kegiatan untuk menilai rancangan alat praktikum yang dapat diterima secara rasional. Dikatakan demikian karena validasi masih bersifat penilaian berdasarkan pemikiran rasional, belum fakta lapangan (Sugiyono, 2012). Desain alat praktikum divalidasi oleh tiga validator yang merupakan dua dosen dari Pendidikan Kimia dan satu dosen dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung. Adapun yang dinilai pada desain yaitu menggunakan komponen mudah diperoleh, biaya relatif murah, mudah dirangkai, mudah dioperasikan, komponen yang aman, menarik, daya tahan baik, inovatif dan kreatif. Apabila desain yang dibuat minimal berkriteria cukup valid dengan syarat melakukan revisi sesuai saran validator maka diperoleh desain alat tervalidasi dan dapat melanjutkan ke tahap pembuatan alat.

### **3. Pengembangan produk awal**

#### a. pembuatan alat praktikum

Pada langkah ini dilakukan pembuatan alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan tabung pemurnian. Pembuatan alat disesuaikan dengan desain yang telah tervalidasi. Penyesuaian ini meliputi bentuk alat dan komponen alat.

#### b. Optimasi bahan percobaan

Setelah alat selesai dibuat, langkah selanjutnya yaitu melakukan optimasi bahan percobaan untuk memperoleh komposisi *slurry* dan larutan kapur yang tepat. Optimasi ini diperlukan agar berhasil mendapatkan biogas sehingga dapat menilai keberfungsian dari alat yang dikembangkan. Optimasi yang pertama yaitu melakukan optimasi perbandingan kotoran sapi dan air dengan variasi 1:1, 1:2, dan 2:1. Perbandingan ini didasarkan pada massa. Volume *slurry* mengisi reaktor dibuat tetap yaitu 70% dari volume reaktor dan kotoran sapi yang digunakan adalah kotoran sapi yang segar. Sehingga variasi pertama (1:1) menggunakan 2 kg kotoran sapi dan 2 kg air; variasi kedua (1:2) menggunakan 1,3 kg kotoran sapi dan 2,6 kg air; serta variasi ketiga (2:1) menggunakan 2,8 kg kotoran sapi dan 1,4 kg air. Pada setiap variasinya ditambahkan EM4 sebanyak 10%. Variasi yang dipilih nantinya adalah variasi yang paling banyak menghasilkan gas dalam waktu 10 hari.

Selanjutnya dilakukan optimasi jenis zat tambahan untuk mempercepat terbentuknya gas. Variasi yang digunakan yaitu EM4, tetes tebu, dan air kelapa sebanyak 5 ml. Zat tambahan yang dipilih nantinya adalah zat yang paling cepat dan paling banyak menghasilkan gas dalam waktu 10 hari. Optimasi larutan kapur juga perlu dilakukan. Larutan kapur berfungsi sebagai zat pemurni biogas karena mampu menyerap CO<sub>2</sub>. Variasi yang digunakan yaitu larutan kapur dengan konsentrasi 2M, 3M, dan 4M.

#### c. uji keberfungsian

Uji keberfungsian dilakukan untuk mengetahui keberfungsian tiap komponen dari alat yang dikembangkan. Uji ini dilakukan dengan cara peneliti membuat video pembuatan biogas dari kotoran sapi menggunakan alat hasil pengembangan. Selanjutnya peneliti menunjukkan video tersebut kepada tiga validator yang merupakan dua dosen dari Pendidikan Kimia dan satu dosen dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung. Kemudian validator mengisi kuesioner uji keberfungsian yang telah disediakan.

#### d. revisi alat

Tahap revisi alat dilakukan jika terdapat saran perbaikan dari validator ketika melakukan uji keberfungsian. Revisi dilakukan berdasarkan tanggapan validator pada kuesioner. Tujuan dilakukan revisi produk ini agar menghasilkan alat praktikum yang lebih baik. Hasil akhir pada penelitian ini yaitu alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan tabung pemurnian hasil revisi uji keberfungsian.

### **C. Subjek dan Lokasi Penelitian**

Subjek pada penelitian ini adalah alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan tabung pemurnian. Pada tahap penelitian dan pengumpulan data dilakukan studi lapangan di SMA Negeri 14 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Gedong Tataan, dan SMA Negeri 2 Gadingrejo. Pada tahap pengembangan produk awal dilakukan pembuatan video percobaan alat di Pringsewu, kemudian penilaian uji keberfungsian di FKIP Universitas Lampung.

### **D. Sumber Data**

Pada tahap penelitian dan pengumpulan, data diperoleh dari hasil wawancara guru kimia kelas X di SMA Negeri 14 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Gedong Tataan, dan SMA Negeri 2 Gadingrejo. Pada tahap perencanaan, data diperoleh dari jawaban kuesioer validator terhadap desain alat. Pada tahap pengembangan produk awal, data diperoleh dari jawaban kuesioner validator untuk uji keberfungsian.

### **E. Instrumen Penelitian**

Menurut Arikunto (2008), instrumen adalah alat yang berfungsi untuk mempermudah pelaksanaan sesuatu. Instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah instrumen berupa pedoman wawancara dan kuesioner. Berikut ini merupakan penjabaran dari instrumen yang digunakan pada penelitian.

### **1. Instrumen pada tahap penelitian dan pengumpulan data**

Instrumen yang digunakan pada tahap ini berupa pedoman wawancara yang digunakan untuk mewawancarai tiga guru kimia SMA kelas X. Pedoman wawancara berisi daftar pertanyaan untuk memperoleh informasi mengenai pembelajaran yang dilakukan terkait energi alternatif, ketersediaan alat praktikum di sekolah, dan kendala atau kesulitan yang dihadapi oleh guru dalam pembelajaran. Hasil dari instrumen ini dijadikan sebagai landasan peneliti dalam mengembangkan alat penghasil biogas dari kotoran sapi yang akan dilakukan.

### **2. Instrumen yang digunakan pada tahap perencanaan**

Instrumen yang digunakan pada tahap perencanaan yaitu berupa kuesioner untuk melakukan validasi desain alat praktikum. Pengisian kuesioner ini sesuai dengan petunjuk yang tertera pada kuesioner dan dilakukan oleh tiga validator yang merupakan dua dosen dari Pendidikan Kimia dan satu dosen dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung. Dalam kuesioner berisi pernyataan mengenai kriteria yang dinilai dalam desain alat yaitu mencakup komponen mudah diperoleh, biaya relatif murah, mudah dirangkai, mudah dioperasikan, komponen yang aman, menarik, daya tahan baik, inovatif dan kreatif.

### **3. Instrumen yang digunakan pada tahap pengembangan produk awal**

Instrumen yang digunakan pada tahap ini yaitu berupa kuesioner untuk uji keberfungsian. Pengisian kuesioner ini sesuai dengan petunjuk yang tertera pada kuesioner dan dilakukan oleh tiga validator yang merupakan dua dosen dari Pendidikan Kimia dan satu dosen dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung. Kuesioner berisi pernyataan mengenai keberfungsian dari tiap-tiap komponen alat penghasil biogas hasil pengembangan.

## **F. Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah wawancara dan kuesioner. Wawancara yang dilakukan adalah wawancara terstruktur, dimana pewawancara telah membuat daftar pertanyaan dalam bentuk tertulis yang akan ditanyakan secara lisan kepada responden. Menurut Sugiyono (2012), kuesioner adalah teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara memberi seperangkat

pertanyaan atau pernyataan tertulis kepada responden untuk dijawabnya. Kuesioner yang disebarakan berisi pertanyaan/pernyataan terbuka dan tertutup dan diberikan kepada responden secara langsung. Responden diminta mengisi kuesioner sesuai dengan petunjuk kuesioner.

### G. Analisis Data

Adapun kegiatan teknik analisis data dari hasil data kuesioner validasi desain alat dan uji keberfungsian dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- a. Memberi skor jawaban responden. Penskoran jawaban responden dalam kuesioner dilakukan berdasarkan skala *Likert*.

Tabel 2. Penskoran pada kuesioner berdasarkan skala Likert

Pilihan jawaban	Skor
Sangat Setuju (SS)	5
Setuju (S)	4
Kurang Setuju (KS)	3
Tidak Setuju (TS)	2
Sangat Tidak Setuju (STS)	1

(Sugiyono, 2012)

- b. Mengolah jumlah skor jawaban responden. Pengolahan jumlah skor ( $\sum$ ) jawaban kuesioner adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Pengolahan jumlah skor ( $\sum$ ) jawaban kuesioner

Pilihan jawaban	Skor	Jumlah responden (YS)
Sangat Setuju (SS)	S <sub>1</sub>	Y <sub>S1</sub>
Setuju (S)	S <sub>2</sub>	Y <sub>S2</sub>
Kurang Setuju (KS)	S <sub>3</sub>	Y <sub>S3</sub>
Tidak Setuju (TS)	S <sub>4</sub>	Y <sub>S4</sub>
Sangat Tidak Setuju (STS)	S <sub>5</sub>	Y <sub>S5</sub>

- c. Menghitung jumlah skor jawaban kuesioner dengan menggunakan rumus berikut.

$$\sum S = S_1 \cdot Y_{S1} + S_2 \cdot Y_{S2} + S_3 \cdot Y_{S3} + S_4 \cdot Y_{S4} + S_5 \cdot Y_{S5}$$

Keterangan :

$\sum S$  = jumlah skor jawaban

$S_{1,2,3,4,5}$  = Skor berdasarkan skala Likert

$Y_{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5}$  =Jumlah responden yang menjawab (Sudjana, 2005).

- d. Menghitung persentase jawaban kuesioner pada setiap item dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\%X_{in} = \frac{\sum S}{S_{maks}} \times 100\%$$

Keterangan :

$\%X_{in}$  = Persentase kuesioner jawaban kuesioner-i

$\sum S$  = Jumlah skor jawaban

$S_{maks}$  = Skor maksimum (Sudjana, 2005)

- e. Menghitung rata-rata persentase kuesioner untuk mengetahui aspek yang ingin dicapai dengan rumus sebagai berikut.

$$\overline{\%X_t} = \frac{\sum \%X_{in}}{n}$$

Keterangan :

$\overline{\%X_t}$  = rata-rata persentase kuesioner

$\sum \%X_{in}$  = jumlah persentase kuesioner pada setiap aspek

$n$  = Jumlah aspek (Sudjana, 2005)

- f. Menafsirkan persentase jawaban kuesioner secara keseluruhan yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tafsiran skor (persentase) kuesioner

Persentase	Kriteria
80,1% - 100%	Sangat tinggi
60,1% - 80%	Tinggi
40,1% - 60%	Sedang
20,1% - 40%	Rendah
0,0% - 20%	Sangat rendah

(Arikunto, 2010).

- g. Menafsirkan kriteria validasi analisis persentase produk dengan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kriteria validasi

<b>Presentase (%)</b>	<b>Tingkat kevalidan</b>	<b>Keterangan</b>
76-100	Valid	Layak/tidak perlu revisi
51-75	Cukup valid	Cukup layak/revisi sebagian
26-50	Kurang valid	Kurang layak/revisi sebagian
<26	Tidak valid	Tidak layak/revisi total

(Arikunto, 2010).

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan

1. Alat penghasil biogas yang telah dikembangkan memiliki karakteristik yaitu menggunakan galon 5 liter sebagai reaktor, menggunakan selang u berisi air berwarna sebagai manometer, botol transparan 400 ml sebagai tabung pemurnian, *urine bag* 1 liter sebagai penampung gas, dan jarum pompa bola sebagai tempat uji nyala api.
2. Hasil validasi uji keberfungsian alat sebesar 98% dengan kriteria sangat tinggi dan valid sehingga dapat disimpulkan bahwa alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan tabung pemurnian hasil pengembangan dapat berfungsi dengan baik.

### B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pengoptimalan volume *slurry* dalam memenuhi ruang reaktor untuk menghasilkan gas yang lebih banyak.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait jumlah zat tambahan sebagai aktivator bakteri agar gas lebih cepat terbentuk.
3. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut pada alat penghasil biogas dengan tabung pemurnian oleh peneliti lain terutama komponen pemurnian untuk menghilangkan pengotor gas lainnya sehingga menghasilkan biogas yang lebih berkualitas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfa, I. M., Dahunsi, S. O., Iorhemen, O. T., Okafor, C. C., Ajayi, S. A. (2014). Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass. *Bioresource Technology*. 157, 270–277.
- Alim, M. S., Thamrin, S., & Laksmono, R. (2023). Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Alternatif Ketahanan Energi Nasional Masa Depan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara*, 4(3), 2427–2435.
- Ansari, M. A., Haider, S., & Masood, T. (2021). Do renewable energy and globalization enhance ecological footprint: an analysis of top renewable energy countries?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 6719–6732.
- Anwar, H., Widjaja, T., & Prajitno, D. H. (2021). Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 4(1), 1-10.
- Arifin, Z., Amrul, A., & Irsyad, M. (2021). Simulasi co-combustion batubara dan biomassa tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi (torrefied biomass). *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(1), 53–60.
- Arikunto, S. (2010). *Penilaian Program Pendidikan*. Edisi III. Jakarta: Bina Aksara.
- Arindya, R. (2018). *Energi Terbarukan*. Yogyakarta: Teknosain.
- Basri, A. K., Kadirman, & Jamaluddin. (2019). Rancang Bangun Reaktor Biogas Skala Rumah Tangga. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5, 79–84.
- Bodhe, A., Dethé, P., Sethi, M., Deshmukh, D., Vishakarma, A. K., & Chauhan, A. (2023). *Development of Balloon Biogas Plant for Small Farmers*. In E3S Web of Conferences (Vol. 434, p. 01004). EDP Sciences.
- Borg, W. R. & Gall, M., D. (1989). *Educational Research: An Introduction*. 5<sup>th</sup> Ed. New York: Longman, Inc.

- Efendi, E., Purba, D. W., & Nasution, N. U. (2017). Respon Pemberian Pupuk NPK Mutiara dan Bokashi Jerami Padi terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L). *Bernas*, 13(3), 20-29
- Erfiani, M., Priyanti, I., Manurung, M., Yuliana, D., & Ramadhan, M. F. (2023). Rancang Bangun Reaktor Biogas Portable Menggunakan Limbah Sampah Organik Dan Starter Kotoran Sapi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 365-371.
- Fahriansyah, F., Sriharti, S., & Andrianto, M. (2019). Peningkatan Gas Metana dan Nilai Kalori Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian dengan Metode Tiga Lapis Adsorpsi Bahan Padat. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 11(2), 182-191.
- Fattah, M. S. N., Amri, A., & Borahima, S. (2022). Pembuatan Anaerobic Biodigester Dari Limbah Enceng Gondok Dan Kotoran Sapi Sebagai Energi Alternatif Skala Rumah Tangga. *Jurnal Teknik Mesin FT-UMI*, 4(1), 49–60.
- Halkos, G. E., & Gkampoura, E. C. (2020). Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy sources. *Energies*, 13(11), 1-19.
- Haryati, T. (2006). Biogas: Limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif. *Jurnal Wartazoa*, 16(3), 160-169
- Huda, S., & Wikanta, W. (2016). Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik Sebagai Upaya Mendukung Usaha Peternakan Sapi Potong di Kelompok Tani Ternak Mandiri Jaya Desa Moropelang Kecamatan Babat Kabupaten Lamongan. *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 26-35.
- Iriani, P., & Heryadi, A. (2014). Pemurnian Biogas Melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif. *Sigma-Mu*, 6(2), 36-42.
- Karaman, N. (2021). Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi (Biogas) Rumah Tangga di Kabupaten Sampang Provinsi Jawa Timur. *Abdi-Mesin: Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik Mesin*, 1(1), 28-35.
- Kemendikbudristek BSKAP. (2022). *Salinan Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022*. In Kemendikbudristek.

- Kouya-Takala, G., Nguimbous-Kouoh, J. J., Biyindi, T. D., & Manguelle-Dicoum, E. (2019). Biogas and Digestate Production in a Portable Anaerobic Digester by Methanization. *International Journal of Renewable Energy Sources*, 4(1), 11–25.
- Laila, N. N. (2021). *Manajemen Laboratorium dalam Aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Laboratorium Pendidikan*. Pekalongan: Penerbit NEM.
- Li, L., Lin, J., Wu, N., Xie, S., Meng, C., Zheng, Y., Wang, X., & Zhao, Y. (2022). Review and outlook on the international renewable energy development. *Energy and Built Environment*, 3(2), 139–157.
- Logayah, D. S., Rahmawati, R. P., Hindami, D. Z., & Mustikasari, B. R. (2023). Krisis Energi Uni Eropa: Tantangan dan Peluang dalam Menghadapi Pasokan Energi yang Terbatas. *Hasanuddin Journal of International Affairs*, 3(2), 102–110.
- Mara, M. (2012). Analisis penyerapan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan larutan NaOH terhadap kualitas biogas kotoran sapi. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(1), 1-8.
- Mashur, M., Agustin, A. L. D., Ningtyas, N. S. I., Multazam, A., & Ningsih, M. (2020). Gelar Teknologi Pengolahan Kotoran Sapi dan Limbah Rumah Tangga Menjadi Eksmecat untuk Meningkatkan Pendapatan Masyarakat. *Sasambo: Jurnal Abdimas (Journal of Community Service)*, 2(3), 86–94.
- Melsasail, L., Warouw, V. R. C., & Kamagi, Y. E. B. (2019). Analisis kandungan unsur hara pada kotoran sapi di daerah dataran tinggi dan dataran rendah. *Cocos*, 2(6), 1–14.
- 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), 45-57.
- Prihatiningtyas, S., Sholihah, F. N., & Nugroho, M. W. (2019). *Biodigester Untuk Biogas*. Jombang: Fakultas Pertanian Universitas KH. Wahab Hasbullah.
- Ramaiyulis, R., Lutfi, U. M., Hendriani, R., & Nefri, J. (2021). Applicative biogas plant for processing cow dung in the small scale livestock farming. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 10(2), 79-83.
- Saidi, D., Maryana, & Widiarti, I. W. (2022). *Pengelolaan Limbah Ternak*. In *Pengelolaan Limbah Ternak Sapi*. LPPM UPN Veteran Yogyakarta.

- Salim, I., & Kafiari, F. (2017). Pembuatan alat penghasil biogas sederhana di Kampung Hawaii Kabupaten Jayapura. *Jurnal Pengabdian Papua*, 1(2), 41-46.
- Santoso, B., Warsono, I. U., Seseray, D. Y., & Purwaningsih, P. (2020). Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi Biogas Di Kabupaten Teluk Bintuni Provinsi Papua Barat. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 26(3), 119-123.
- Sari, A. L. R., Ulva, S. M., & Melisa. (2023). Analisis Tekanan Biogas Dari Kotoran Sapi Pada Miniatur Reaktor Biogas Dari Galon Bekas. *Jurnal Sains Benuanta*, 2(1), 51–57.
- Sasse, L. (1988). *Biogas Plants*. The Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien. Germany.
- Sayed, E. T., Wilberforce, T., Elsaid, K., Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Chae, K. J., & Olabi, A. G. (2021). A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal. *Science of the total environment*, 766, 1-15.
- Sayoga, I. M. A., Nurcahyati, Nuarsa, I. M., & Wiratama, K. (2021). Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Bahan Bakar Biogas di Dusun Gumesa Desa Giri Tembesi Gerung Lombok Barat. *Jurnal Karya Pengabdian*, 3(1), 27–31.
- Selan, R. N., Tobe, A. Y., & Pell, Y. M. (2020). Pelatihan Pembuatan Digester biogas Sederhana Bagi Kelompok PKK Nofenaek. Selaparang: *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkelanjutan*, 4(1), 653-657.
- Semin, Fathallah, A. Z. M., Cahyono, B., Ariana, I. M., & Sutikno. (2014). Kajian Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Bahan Bakar Biogas Murah Dan Terbarukan Untuk Rumah Tangga Di Boyolali. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 11(2), 212–220.
- Simamora, S., Salundik, Sri, W., & Surajudin (2006). *Membuat Biogas; Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas dari Kotoran Ternak*. Jakarta: Agro Media.
- Stančič, H., Mikulčić, H., Wang, X., & Duić, N. (2020). A review on alternative fuels in future energy system. *Renewable and sustainable energy reviews*, 128, 1-17.
- Subarjo, & Widodo, T. (2019). Subarjo: Racang Bangun Prototipe Digester Biogas. *Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian-TekTan*, 11(3), 143–203.

- Sudjana, N. (2005). *Metode Statistika Edisi keenam*. Bandung: PT. Tarsito.
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan R & D*. Bandung: Alfabeta.
- Sujadi.(2003). *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Jakarta: Kesuma Karya.
- Sukmana, R. W., & Muljatiningrum. (2011). *Biogas dari Limbah Ternak*. Bandung: Nuansa.
- Sutrisno, E., & Priyambada, I. B. (2019). Pembuatan pupuk kompos padat limbah kotoran sapi dengan metoda fermentasi menggunakan bioaktivator starbio di desa ujung – ujung kecamatan pabelan kabupaten semarang. *Jurnal Pasopati*, 1(2), 2–5.
- Suyitno, Sujono, A., & Dharmanto. (2010). *Teknologi Biogas Pembuatan, Operasional, dan Pemafaatan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tim Penyusun. (2011). *Pedoman Pembuatan Alat Peraga Kimia Sederhana untuk SMA*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Usman, U., Hasan, H., Kaharm, M. A., & Elihami, E. (2020). Pemanfaatan kotoran ternak sebagai bahan pembuatan biogas. *Maspul Journal Of Community Empowerment*, 1, 13-20.
- Verma, S., (2002). *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*. Master Thesis, Department of Earth and Environmental Engineering, Foundation of Engineering and Applied Science, Columbia University.
- Wahyuni, S. (2013). *Panduan Praktis Biogas*. Jakarta Timur: Penebar Swadaya Grup.
- Wardana, L. A., Lukman, N., Mukmin, M., Sahbandi, M., Bakti, M. S., Amalia, D. W., Wulandari, N. P. A., Sari, D. A., & Nababan, C. S. (2021). Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(1), 201-207.
- Widyasari, Y. E. (2022). Pemanfaatan Limbah Botol Kaca Bekas sebagai Reaktor Sederhana pada Pembuatan Biogas Skala Laboratorium. *Indonesian Journal of Laboratory*, 5(2), 61-69.