

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

(Skripsi)

Oleh

**MULYAWAN SAPUTRA
NPM 2013023038**



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

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

Oleh

MULYAWAN SAPUTRA

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 SISTEM PENGADUKAN SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN UNTUK PRAKTIKUM KIMIA KELAS X

Oleh

MULYAWAN SAPUTRA

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan sistem pengadukan sebagai media pembelajaran untuk praktikum kimia kelas X dan mendeskripsikan karakteristik serta keberfungsian alat penghasil biogas yang dikembangkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan (R&D) menurut Borg & Gall yang dilakukan sampai tahap ketiga dari sepuluh tahapan yaitu penelitian dan pengumpulan data, perencanaan, dan pengembangan produk awal. Instrumen yang digunakan pada penelitian ini yaitu pedoman wawancara dan kuesiner. Sumber data diperoleh dari guru kimia kelas X dari tiga sekolah di provinsi Lampung dan validator. Teknik analisis data dilakukan dengan menghitung persentase jawaban kuesioner hasil validasi ahli.

Alat penghasil biogas yang dikembangkan termasuk tipe *fix dome* dengan sistem *batch*. Karakteristik alat penghasil biogas ini adalah menggunakan ember cat sebagai reaktor, menggunakan selang u berisi air berwarna sebagai pengukur tekanan gas, dinamo kipas angin sebagai pengaduk, kantung urin sebagai penampung gas, dan jarum pompa bola sebagai saluran uji nyala api. Validasi desain dan uji keberfungsian alat penghasil biogas dengan sistem pengadukan dilakukan oleh tiga orang validator. Hasil validasi desain menunjukkan bahwa desain memiliki kriteria sangat tinggi dan valid dengan persentase komponen mudah diperoleh 100%, biaya relatif murah 93%, mudah dirangkai 87%, mudah dioperasikan 93%, bahan aman 93%, menarik 93%, daya tahan baik 80%, inovatif dan kreatif 100%, skala laboratorium sekolah 100%, dan uji nyala api 87%. 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 sistem pengadukan dapat berfungsi dengan baik dan layak digunakan.

Kata kunci : biogas, alat penghasil biogas, kotoran sapi, sistem pengadukan

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A TOOL FOR PRODUCING BIOGAS FROM COW MANURE EQUIPPED WITH A MIXING SYSTEM AS A LEARNING MEDIA FOR CLASS X CHEMISTRY PRACTICUM

By

MULYAWAN SAPUTRA

This research aims to develop a biogas producing device from cow dung equipped with a stirring system as a learning medium for class X chemistry practicum and describe the characteristics and functionality of the biogas producing device developed. The method used in this research is research and development (R&D) according to Borg & Gall which was carried out until the third of ten stages, namely research and data collection, planning and initial product development. The instruments used in this research were interview guidelines and questionnaires. Data sources were obtained from class X chemistry teachers from three schools in Lampung province and validators. The data analysis technique was carried out by calculating the percentage of answers to the questionnaire as a result of expert validation.

The biogas producing equipment developed includes a fixed dome type with a batch system. The characteristics of this biogas producing device are that it uses a paint bucket as a reactor, uses a u-hose filled with colored water as a gas pressure gauge, a fan dynamo as a stirrer, a urine bag as a gas reservoir, and a ball pump needle as a flame test channel. Validation of the design and functional testing of the biogas producing device with a stirring system was carried out by three validators. The design validation results show that the design has very high and valid criteria with a component percentage that is easy to obtain 100%, relatively cheap cost 93%, easy to assemble 87%, easy to operate 93%, safe material 93%, attractive 93%, good durability 80% , innovative and creative 100%, school laboratory scale 100%, and flame test 87%. 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 stirring system can function well and is suitable for use.

Keywords : biogas, biogas producing equipment, cow dung, stirring system

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

Nama Mahasiswa : *Mulyawan Saputra*

No. Pokok Mahasiswa : 2013023038

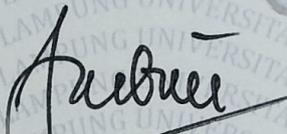
Program Studi : Pendidikan Kimia

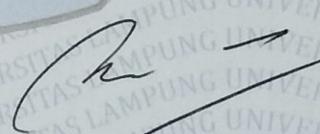
Jurusan : Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**


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


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

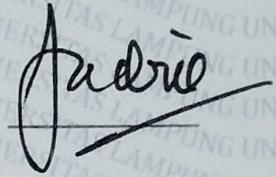
2. **Ketua Jurusan Pendidikan MIPA**


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

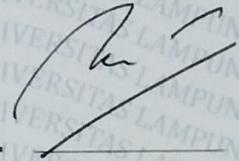
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

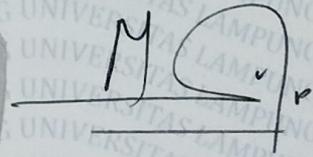
Ketua : **Dr. Noor Fadiawati, M.Si.**



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



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



2. Plt. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Dr. Riswandi, M.Pd.
NIP. 19760608 200912 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **22 Januari 2025**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mulyawan Saputra
Nomor Pokok Mahasiswa : 2013023038
Program Studi : Pendidikan Kimia
Jurusan : Pendidikan MIPA
Judul Skripsi : Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi Dilengkapi dengan Sistem Pengadukan sebagai Media pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi dan sepengetahuan 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.

Apabila ternyata di kemudian hari terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya.

Bandar Lampung, 22 Januari 2025
Yang Menyatakan



Mulyawan Saputra
NPM 2013023038

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 12 Juli 1999 di Desa Airnaningan, Kecamatan Airnaningan, Kabupaten Tanggamus sebagai anak kedua dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Samiludin dan Ibu Risnawati. Penulis memulai pendidikan di SD Negeri 1 Airnaningan selesai pada tahun 2012, sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Airnaningan selesai pada tahun 2015, dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Airnaningan selesai pada tahun 2018.

Pada tahun 2020 terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa pernah menjadi Asisten Praktikum Dasar-Dasar Kimia Analitik dan Kimia Pemisahan Analitik. Pada tahun 2022 pernah menjadi kepala bidang Sosial dan Alumni Forum Silaturahmi Mahasiswa Pendidikan Kimia (FOSMAKI). Selain itu, penulis juga pernah aktif dalam unit kegiatan mahasiswa (UKM) yaitu sebagai anggota Dinas Pengembangan Sumber Daya Manusia Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FKIP Unila pada tahun 2020-2021 dan anggota Divisi Dana dan Usaha Himpunan Mahasiswa Pendidikan Eksakta (HIMASAKTA) FKIP Unila pada tahun 2020-2021. Pada tahun 2023 penulis mengikuti Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) di SMA Negeri 2 Blambangan Umpu yang terintegrasi dengan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sidoarjo, Kecamatan Blambangan Umpu, Kabupaten Way Kanan.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamiin, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Ku persembahkan skripsi ini kepada:

**Orang tuaku tersayang
(Bapak Samiludin dan Ibu Risnawati)**

Terimakasih atas kasih sayang, cinta, dukungan, ridho, dan doa yang selalu dipanjatkan untuk anak-anaknya. Semoga kerja keras dan pengorbanan bapak dan ibu digantikan dengan pahala yang berlipat ganda.

Bapak Agus dan Ibu Endah

Terimakasih kepada bapak dan ibu yang selalu memberikan motivasi, nasihat dan dukungan kepada saya, berkat kalian saya berani melangkah sampai sejauh ini untuk meraih kesuksesan, kalian sudah seperti orang tua kedua bagiku.

Kakakku Yulia Darti, adik-adikku Rendy Permana dan Vera Wati

Terimakasih untuk motivasi dan dukungannya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Sahabat dan Almamater Tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

Jadilah diri sendiri mau disukai atau tidak oleh orang lain biarkan saja. Kita tidak perlu mengikuti standar orang lain. Karena kita punya versi terbaik masing-masing untuk diri kita sendiri.”

(Ahanchaw)

“Apapun yang menjadi takdirmu pasti akan mencari jalannya sendiri untuk menemukanmu”

(Ali Bin Abi Thalib)

“Tidak ada kata terlambat untuk mulai menciptakan kehidupan yang kamu inginkan”

(Dawn Clark)

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi Dilengkapi dengan Sistem Pengadukan sebagai Media Pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X" sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana pendidikan pada Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan MIPA FKIP Universitas Lampung. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, yang selalu menjalankan kewajibannya dengan istiqomah.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan 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 Pembahas yang telah memberikan kritik, saran perbaikan dan nasihat untuk skripsi ini;
4. Ibu Dr. Noor Fadiawati, M.Si., selaku Pembimbing I dan pembimbing akademik atas keikhlasan dan kesabarannya dalam memberikan ilmu, bimbingan, motivasi, dan saran selama masa studi dan dalam penyusunan skripsi ini;
5. Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si., selaku Pembimbing II atas kesediaannya memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam penyusunan skripsi ini;

6. Ibu Dr. Kartini Herlina, M.Si., Ibu Dra. Nina Kadaritna, M.Si., dan Bapak Mohammad Ahdiat, S.Pd., M.PKim., selaku dosen validator atas kesediaannya memberikan kritik dan saran selama proses penelitian;
7. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Lampung atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan;
8. Orang tuaku tercinta, Bapak Samiludin dan Ibu Rismawati atas dukungan dan doa yang selalu dipanjatkan untuk kemudahan dalam setiap langkah anak-anaknya;
9. Kakakku Yulia Darti serta adik-adikku Rendy Permana dan Vera Wati yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa dalam menyelesaikan studi;
10. Dea Aprila Gardinia yang selalu memberikan semangat, nasihat dan menemani disetiap proses penulis;
11. Rekan-rekan seperjuangan skripsi Khomsatun dan Alvina terima kasih atas kerja sama, waktu, dan kekompakkannya dalam menyelesaikan skripsi ini;
12. Teman-teman angkatan 2020 Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Lampung;
13. Semua pihak yang berperan dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, akan tetapi penulis berhadap semoga skripsi ini bagi pembacanya.

Bandar Lampung, 22 Januari 2025

Penulis,

Mulyawan Saputra
NPM 2013023038

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Ruang Lingkup Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Biogas	6
B. Kotoran Sapi.....	10
C. Biodigester.....	11
D. Alat Praktikum.....	16
E. Penelitian Relevan	17
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
A. Metode Penelitian.....	21
B. Alur Penelitian.....	22
C. Subyek dan Lokasi Penelitian	26
D. Sumber Data	27
E. Instrumen Penelitian	27
F. Teknik Pengumpulan Data	28
G. Analisis Data	28

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	31
A. Penelitian dan Pengumpulan Data.....	31
B. Perencanaan.....	32
C. Pengembangan Produk Awal.....	37
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	45
A. Simpulan.....	45
B. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	52
1. Pedoman wawancara.....	53
2. Lembar Kuesioner Validasi Desain Alat (Validator 1).....	54
3. Lembar Kuesioner Validasi Desain Alat (Validator 2).....	57
4. Lembar Kuesioner Validasi Desain Alat (Validator 3).....	60
5. Rekapitulasi Hasil Validasi Desain Alat Penghasil Biogas.....	63
6. Lembar Kuesioner Uji Keberfungsian (Validator 1).....	64
7. Lembar Kuesioner Uji Keberfungsian (Validator 2).....	69
8. Lembar Kuesioner Uji Keberfungsian (Validator 3).....	74
9. Rekapitulasi hasil validasi uji keberfungsian alat penghasil biogas.....	79
10. Buku Petunjuk Penggunaan Alat Penghasil Biogas.....	80
11. Buku Penuntun Praktikum.....	86
12. Dokumentasi Percobaan Penggunaan Alat Pengasil Biogas yang Dikembangkan.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kelebihan dan kekurangan digester jenis <i>fixed dome</i> (kubah tetap).....	13
2. Pedoman penskoran kuesioner berdasarkan skala <i>Likert</i>	28
3. Pedoman pengolahan jumlah skor jawaban kuesioner	29
4. Tafsiran persentase skor kuesioner	30
5. Kriteria validasi.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir proses pembentukan biogas	8
2. Digester jenis <i>fixed dome</i> (kubah tetap)	12
3. Digester jenis <i>floating dome</i> (kubah tetap)	13
4. Digester jenis <i>ballon plant</i>	14
5. Digester jenis <i>plug flow</i>	15
6. Bioreaktor hasil pengembangan Yuwono dan Soehartanto	18
7. Reaktor biogas hasil pengembangan Basri dkk.	19
8. Reaktor biogas hasil pengembangan Widyasari.	19
9. Reaktor biogas hasil pengembangan Sari dkk.	20
10. Tahapan penelitian dan pengembangan menurut Borg & Gall	21
11. Alur penelitian alat penghasil biogas dengan pengaduk	22
12. Desain 1 alat penghasil biogas dengan pengaduk	33
13. Desain 2 alat penghasil biogas dengan pengaduk	34
14. Desain 3 alat penghasil biogas dengan pengaduk	35
15. Diagram persentase hasil validasi desain alat penghasil biogas dengan pengaduk	36
16. Alat penghasil biogas dengan pengaduk sesuai desain	37
17. Alat penghasil biogas dengan pengaduk hasil revisi	39
18. Uji nyala api	43
19. Diagram persentase hasil validasi uji keberfungsian alat penghasil biogas dengan pengaduk	44

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini permasalahan energi menjadi sorotan utama negara-negara di dunia termasuk di negara berkembang seperti Indonesia (Wardana dkk., 2021). Energi memiliki peran penting dalam kehidupan karena sebagian besar aktivitas manusia memerlukan energi (Yulistia dan Alamsyah, 2023). Pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan industri yang begitu pesat menyebabkan permintaan akan energi terus meningkat (Fattah dan Kahfi, 2017). Sampai saat ini, sebagian besar energi masih berasal dari bahan bakar fosil. Sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam merupakan Sumber Daya Alam (SDA) yang tidak dapat diperbarui (Habib dkk., 2022). Oleh karena itu, penggunaan energi yang berasal dari fosil secara terus-menerus tentu saja akan menyebabkan ketersediaan energi ini semakin menipis dan lama kelamaan akan habis pada masanya (Rahmayanti dkk., 2021). Menurut perkiraan para ahli minyak bumi habis pada tahun 2052, gas bumi habis pada tahun 2060, dan batu bara habis pada tahun 2090 (Parinduri dan Parinduri, 2020).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi masalah kelangkaan energi, seperti penggunaan energi yang efisien, mengeksplorasi sumber energi alternatif, dan menerapkan kebijakan yang mendukung transisi menuju energi terbarukan (Dewi dan Kholik, 2018; Priyarsono dkk., 2012). Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil maka penggunaan energi ini perlu dikurangi dan dialihkan ke sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan (Nasution dan Arifah, 2022). Sumber energi yang bersifat terbarukan meliputi energi matahari, angin, air, dan panas bumi (Halkos *and* Zisiadou, 2023).

Pemerintah Indonesia juga turut mendukung perkembangan energi terbarukan yang dibuktikan melalui Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Peraturan Presiden No. 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (Setyono dan Kiono, 2021).

Kelangkaan energi merupakan permasalahan global yang perlu disadari oleh semua kalangan (Smal *and* Wieprow, 2023). Maka dari itu, kesadaran tentang masalah kelangkaan energi dan pentingnya energi alternatif perlu ditanamkan sejak dini terutama dalam dunia pendidikan (Napis dkk., 2023; Anggraini dan Yuniahastuti, 2019). Untuk mewujudkan hal tersebut, maka pemerintah Indonesia mengintegrasikan isu permasalahan global ke dalam kurikulum pendidikan sebagai capaian pembelajaran (Barlian dkk., 2022). Pada capaian pembelajaran kimia kelas X kurikulum merdeka, khususnya fase E peserta didik dituntut memiliki kemampuan untuk merespon isu-isu global dan berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah (Kemendikbudristek BSKAP, 2022). Supaya peserta didik dapat memenuhi capaian pembelajaran tersebut, mereka tidak cukup hanya diberikan pengetahuan berupa teori saja, tetapi mereka juga perlu dilatihkan melalui kegiatan praktikum (Afifah dkk., 2021). Salah satu praktikum terkait energi alternatif yang cukup menarik untuk diterapkan di sekolah adalah pembuatan biogas (Usman dkk., 2020).

Kegiatan praktikum tentunya memerlukan sarana yaitu alat praktikum. Namun tidak semua sekolah memiliki alat praktikum yang diperlukan. Hal tersebut disebabkan karena harga alat praktikum yang relatif mahal. Seperti pembuatan biogas sebagai energi alternatif belum ada alat praktikum yang dapat digunakan di sekolah, karena biasanya alat penghasil biogas (biodigester) yang digunakan masyarakat memiliki ukuran yang besar dan memerlukan biaya yang tidak sedikit. Sementara untuk praktikum di sekolah dibutuhkan alat yang tidak begitu besar (skala laboratorium sekolah), biaya yang terjangkau, dan aman untuk digunakan. Kurangnya atau tidak tersedianya alat praktikum di sekolah menjadi salah satu penyebab utama praktikum jarang atau bahkan tidak dilaksanakan (Fadiawati dan Tania, 2014).

Mengenai keterbatasan alat praktikum di sekolah diperkuat dengan hasil studi lapangan yang dilakukan melalui wawancara kepada satu guru kimia kelas X di tiga sekolah yaitu SMA Negeri 14 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Gedong Tataan, dan SMA Negeri 2 Gadingrejo. Hasilnya menunjukkan bahwa tiga SMA tersebut telah menerapkan Kurikulum Merdeka. Namun, semua guru belum melakukan praktikum terkait energi alternatif sebagai solusi pemecahan masalah isu global yaitu kelangkaan energi. Hal tersebut disebabkan karena belum ada alat yang menunjang praktikum terkait energi alternatif. Semua guru menyatakan perlu adanya pengembangan alat praktikum terkait energi alternatif untuk menunjang kegiatan pembelajaran di sekolah.

Beberapa penelitian terkait dengan alat penghasil biogas (biodigester) juga sudah dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Yuwono dan Soehartanto (2013) yang merancang bioreaktor dengan pengaduk yang dibuat dari ember cat 25 liter untuk mengolah limbah cair tahu dan eceng gondok menjadi biogas. Basri dkk. (2019) mengembangkan biodigester dari drum plastik 100 liter dengan penampung gas berupa ban bekas serta rangka untuk reaktor yang terbuat dari kayu. Widyasari (2022) merancang alat penghasil biogas skala laboratorium dari limbah botol kaca bekas yang terdiri atas botol kaca 140 ml, tutup botol, pipa sambungan kepala tiga, dan plastisin. Serta penelitian oleh Sari dkk. (2023) yang membuat reaktor biogas yang terdiri dari galon bekas sebagai digester, kaleng bekas sebagai penampung gas, dan selang.

Penelitian terdahulu mengenai alat penghasil biogas yang telah dikembangkan tidak cocok untuk digunakan dalam kegiatan praktikum di sekolah. Hal ini disebabkan karena alat penghasil biogas yang dikembangkan untuk skala besar, biaya pembuatannya cukup mahal, dan material yang digunakan pada alat tersebut kurang aman bagi peserta didik. Seperti penggunaan botol kaca bekas sebagai reaktor dan kaleng bekas sebagai penampung gas kurang aman karena bahan kaca atau kaleng dapat pecah jika terkena tekanan gas yang cukup tinggi. Selain itu, alat penghasil biogas dari peneliti terdahulu ada yang sudah dilengkapi dengan pengaduk dan ada yang belum. Padahal, pengadukan mempengaruhi proses produksi biogas karena selain untuk menghomogenkan bahan baku, pengadukan

juga berperan dalam mengurangi laju pengendapan di dasar digester, yang dapat menghambat pembentukan biogas (Simamora dkk., 2006).

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dikembangkan alat penghasil biogas untuk praktikum di sekolah yang tidak begitu besar (skala laboratorium sekolah), biaya pembuatan alat yang relatif murah, menggunakan komponen dengan bahan yang aman, mudah digunakan, serta dilengkapi dengan pengaduk. Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang berjudul “Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi Dilengkapi dengan Sistem Pengadukan sebagai Media Pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik alat penghasil biogas dari kotoran sapi dengan pengaduk yang dikembangkan?
2. Bagaimanakah keberfungsian tiap komponen alat penghasil biogas dari kotoran sapi dengan pengaduk yang dikembangkan?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan alat penghasil biogas dari kotoran sapi yang dilengkapi dengan sistem pengadukan.
2. Mendeskripsikan keberfungsian tiap komponen alat penghasil biogas dari kotoran sapi dengan pengaduk hasil pengembangan yang dilakukan.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi siswa
Adanya alat penghasil biogas dari kotoran sapi skala laboratorium sekolah

membantu siswa untuk melaksanakan kegiatan praktikum serta memudahkan siswa untuk memenuhi capaian pembelajaran.

2. Bagi guru

Adanya alat penghasil biogas ini diharapkan dapat membantu guru untuk menyediakan alat praktikum yang menunjang kegiatan praktikum pembuatan biogas.

3. Bagi sekolah

Alat penghasil biogas dari kotoran sapi hasil pengembangan akan menambah sarana praktikum di sekolah dalam upaya meningkatkan mutu dan kualitas pendidikan terutama pada pembelajaran kimia.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas, maka ruang lingkup untuk penelitian ini adalah:

1. Alat yang dikembangkan adalah alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan sistem pengadukan skala laboratorium sekolah untuk mengoptimalkan biogas yang dihasilkan.
2. Alat yang dikembangkan (biodigester) termasuk tipe *fixed dome*, yaitu biodigester yang reaktornya memiliki volume tetap.
3. Cara pengisian bahan baku menggunakan sistem *batch*, dimana pengisian bahan dilakukan sekali pada awal produksi biogas hingga proses fermentasi selesai. Jika produksi biogas sudah menurun, maka bahan yang telah diproses dikeluarkan dan diganti dengan yang baru (Fattah dkk., 2022).
4. Alat penghasil biogas dengan pengaduk dinyatakan berfungsi apabila hasil uji keberfungsian berkriteria cukup valid atau valid.

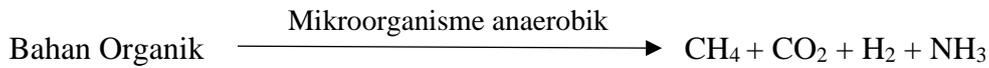
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biogas

Biogas merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, menghasilkan listrik, dan untuk memasak seperti LPG. Nilai kalori dari 1 meter kubik biogas setara dengan 0,6 – 0,8 liter minyak tanah. Untuk menghasilkan listrik 1 Kwh dibutuhkan 0,62–1 meter kubik biogas yang setara dengan 0,52 liter minyak solar. Oleh karena itu, biogas sangat cocok menggantikan minyak tanah, LPG, dan bahan bakar fosil lainnya (Karaman dkk., 2021). Pengembangan biogas memiliki prospek yang cukup besar terutama di daerah pedesaan karena sebagian besar masyarakatnya bekerja di bidang peternakan dan pertanian. Pemanfaatan limbah organik sebagai biogas merupakan salah satu alternatif yang tepat untuk mengatasi kelangkaan energi fosil di masa depan (Santoso *et al.*, 2020).

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik dengan bantuan mikroorganisme pada keadaan anaerob. Biogas dihasilkan dengan bantuan bakteri metanogen atau metagenik yang terdapat dalam limbah organik, seperti limbah ternak dan sampah organik. Secara umum biogas diproduksi melalui alat yang dirancang agar kedap udara yang disebut reaktor biogas (*biodigester*). Melalui reaktor tersebut proses penguraian bahan organik terjadi secara anaerob. Biogas mulai terbentuk pada hari ke 4-5 setelah *biodigester* terisi penuh dan mencapai maksimum pada hari ke 20-25. Biogas yang dihasilkan terdiri dari gas metana (CH_4) 50-70%, gas karbon dioksida (CO_2) 30-40%, gas hidrogen (H_2) 5-10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah sedikit

(Salim dan Kafiari, 2017; Wahyuni, 2013). Menurut Wahyuni, 2011 secara umum proses pembentukan biogas adalah sebagai berikut:



Menurut Salim dan Kafiari (2017), produksi biogas terdiri dari tiga 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. Contohnya polisakarida diubah menjadi monosakarida, sedangkan protein diubah menjadi peptide dan asam amino.

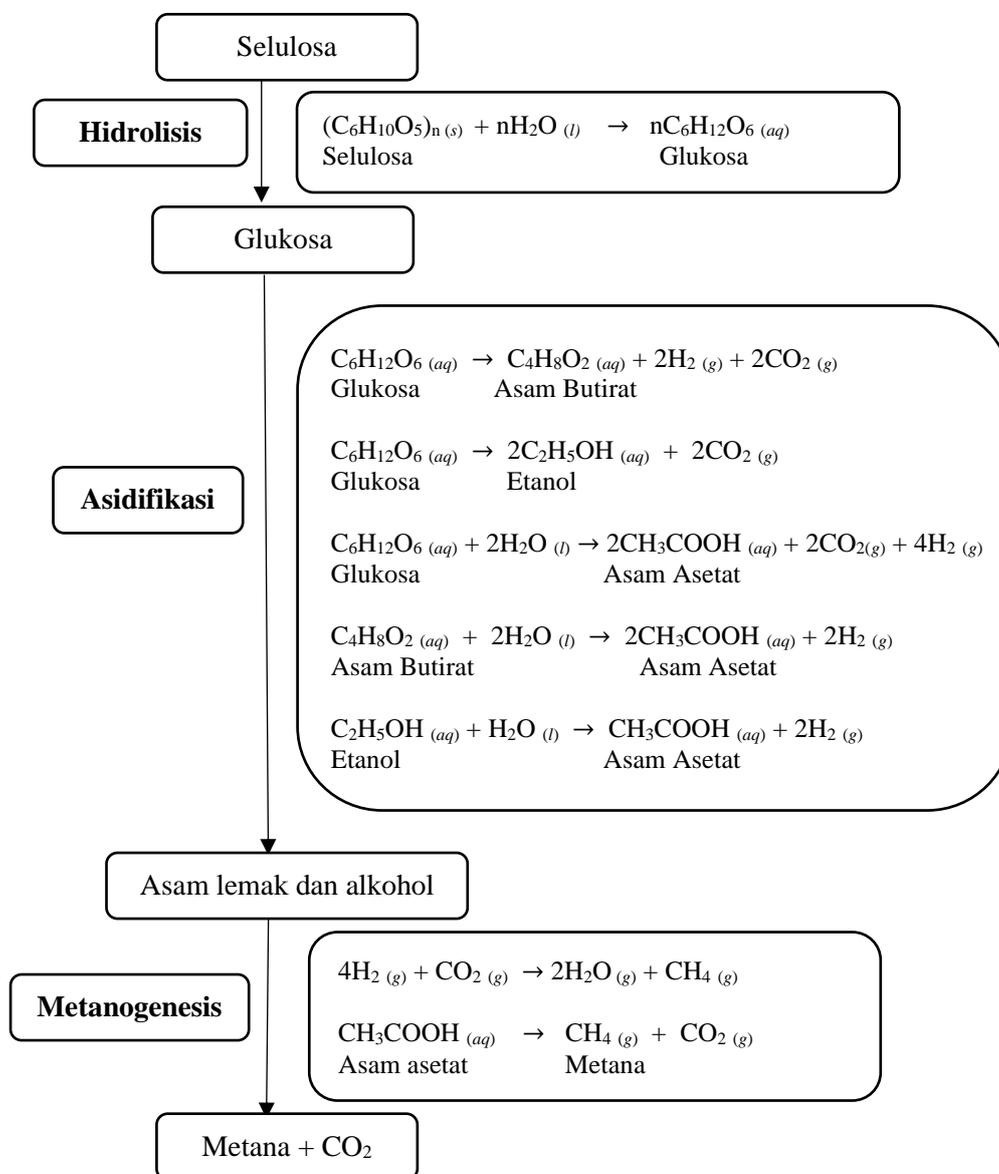
2. Tahap asidifikasi (Asidogenesis dan Asetogenesis)

Pada tahap ini, senyawa rantai pendek hasil proses hidrolisis oleh bakteri asidogenik diubah menjadi asam organik, alkohol, hidrogen, dan karbon dioksida. Proses ini disebut dengan asidogenesis. Selanjutnya senyawa hasil proses asidogenesis diubah menjadi asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida oleh bakteri asetogenik yang disebut proses asetogenesis. Kedua 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.

3. Tahap metanogenesis

Pada tahap ini, bakteri *Methanobacterium omelianski* mengubah senyawa hasil proses asidifikasi yaitu asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida menjadi metana dan CO₂ dalam kondisi anaerob. Proses pembentukan gas metana ini termasuk reaksi eksotermis.

Energi yang dihasilkan dari biogas bergantung pada konsentrasi gas metana (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 *et al.*, 2014). Biogas yang mengandung gas pengotor seperti karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), dan Hidrogen sulfida (H_2S) dengan konsentrasi yang tinggi dapat mengakibatkan penurunan nilai panas (Iriani dan Heryadi, 2014). Adapun cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas panas yang dihasilkan biogas yaitu dengan menghilangkan H_2S , H_2O , dan CO_2 .



Gambar 1. Diagram alir proses pembentukan biogas (Haryati, 2006)

Biogas memiliki ciri tidak berbau, tidak berwarna, jika dibakar akan menghasilkan nyala api berwarna biru cerah seperti LPG, memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara dan memiliki nilai panas pembakaran antara 4800-6200 kkal/m³. Nilai panas pembakaran tersebut sedikit lebih rendah dari nilai pembakaran gas metana murni yang mencapai 8900 kkal/m³ (Mara, 2012).

Menurut Simamora dkk. (2006), terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam produksi biogas, di antaranya:

1. Kondisi anaerob

Dalam pembuatan reaktor biogas (biodigester) dirancang agar kedap udara. Jika terdapat kebocoran dan oksigen masuk ke dalam biodigester maka produksi biogas tidak maksimal dan akan menyebabkan penurunan produksi metana (Hadinata dkk., 2020).

2. Bahan baku

Bahan baku biogas merupakan salah satu faktor penting dalam produksi biogas. Bahan baku ini berasal dari bahan organik seperti kotoran ternak, limbah pertanian, dan limbah organik dan harus terhindar dari bahan anorganik. 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). Bahan organik yang mengandung selulosa dan lignin lebih sukar terurai daripada limbah kotoran ternak sehingga, untuk menghasilkan proses yang optimal, bahan yang digunakan sebaiknya merupakan campuran limbah pertanian dengan kotoran ternak (Wahyuni, 2013).

3. pH

pH sangat berpengaruh terhadap mikroorganisme. pH yang baik untuk kehidupan mikroorganisme yaitu sekitar 6,5-7,5. Maka dari itu, pH pada digester harus terus dijaga.

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 25^0 - 30^0 . 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 mengurangi laju pengendapan di dasar digester yang dapat menghambat pembentukan biogas.

B. Kotoran Sapi

Kotoran sapi merupakan limbah yang berasal dari sapi. Satu ekor sapi setiap harinya menghasilkan kotoran berkisar 8 – 10 kg per hari atau 2,6 – 3,6 ton per tahun atau setara dengan 1,5-2 ton pupuk organik sehingga akan mengurangi penggunaan pupuk anorganik dan mempercepat proses perbaikan lahan (Huda dan Wikanta, 2017). Menurut Budiyanto (2011), potensi jumlah kotoran sapi dapat diketahui dari jumlah populasi sapi. Populasi sapi potong di Indonesia dapat diperkirakan 10,8 juta ekor dan sapi perah 350.000 - 400.000 ekor. Apabila satu ekor sapi rata-rata setiap hari menghasilkan 7 kilogram kotoran kering maka kotoran sapi kering yang dihasilkan di Indonesia sebesar 78,4 juta kilogram per harinya.

Dari sekian banyak daerah sentra produksi ternak, banyak yang masih belum memanfaatkan kotoran sapi secara optimal. Kotoran sapi biasanya dijadikan sebagai sumber pupuk organik dan sebagian di antaranya akan terbuang begitu saja, sehingga dapat merusak lingkungan serta menimbulkan bau yang tidak sedap. Sebagian peternak juga ada yang membawa langsung kotoran ternaknya ke kebun tanpa melalui pengomposan terlebih dahulu. Padahal, kotoran tersebut masih panas dan dapat menyebabkan gangguan pada pertumbuhan tanaman (Rahayu dkk., 2009; Fatthurohman dkk., 2015).

Selain dimanfaatkan sebagai pupuk organik, kotoran sapi dapat dijadikan bahan baku dalam pembuatan biogas. Pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber energi alternatif seperti biogas memberikan banyak keuntungan yaitu bahan bakar yang berkualitas dan tidak berbau. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan peternak sapi (Ningrum dkk., 2019). Menurut Haryati (2006), pengolahan limbah ternak sapi menjadi energi alternatif biogas yang ramah lingkungan merupakan salah satu cara yang menguntungkan, karena mampu memanfaatkan alam tanpa merusaknya, sehingga siklus ekologi akan tetap terjaga.

C. Biodigester

Biodigester merupakan suatu alat atau rancangan sistem yang digunakan untuk menguraikan bahan-bahan organik secara anaerob dalam pembuatan biogas (Susana dan Suartika, 2017). Digester biasanya berbentuk tabung dan dapat dibuat dalam skala rumah tangga maupun skala besar (Pratiwi dkk., 2019; Putra dkk., 2017). Dengan menggunakan biodigester, limbah ternak, limbah sayur, atau limbah organik dapat difermentasi menjadi biogas.

Komponen biodigester sangat beragam dan bervariasi, tergantung pada jenis biodigester yang digunakan dan tujuan pembangunannya. Menurut Suyitno dkk., (2010), 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 penyimpanan biogas

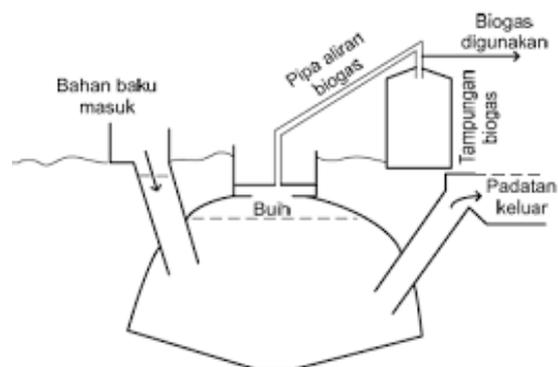
Tujuan dari tangki penyimpan gas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses *digestion*. Terdapat dua jenis tangki penyimpanan biogas, yaitu terpisah dengan reaktor atau bersatu dengan unit reaktor.

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 CH_4 yang tinggi (Suyitno dkk., 2010).

Berdasarkan konstruksinya, digester dibedakan menjadi beberapa antara lain sebagai berikut:

1. *Fixed dome* (kubah tetap)

Digester jenis *fixed dome* ini memiliki volume yang tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam reaktor (bio-digester). 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.



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

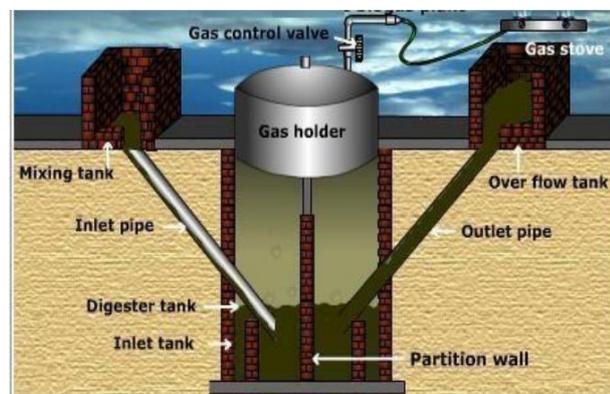
Adapun kelebihan dan kelemahan digester jenis *fixed dome* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan digester jenis *fixed dome*

Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 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 kurang stabil pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan biogas dapat dijaga konstan. Kelemahan pada digester ini yaitu membutuhkan 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* (kubah apung) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Digester jenis *floating dome* (kubah tetap) (Fattah & Kahfi, 2017)

3. *Balloon plant* (balon)

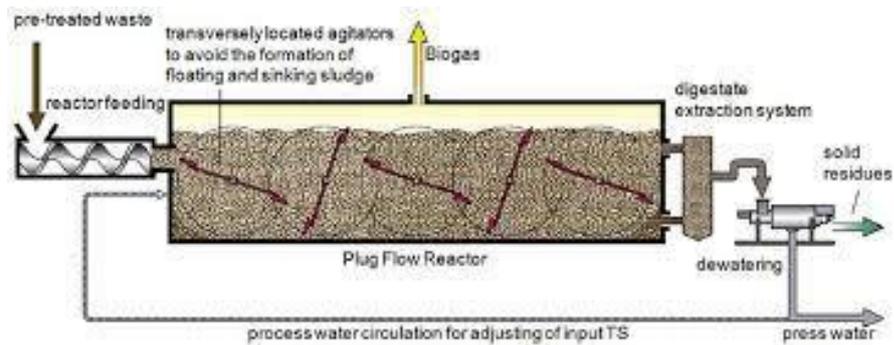
Digester tipe balon merupakan jenis digester yang banyak digunakan pada skala rumah tangga. Digester ini biasanya menggunakan bahan plastik, sehingga lebih efisien dalam penanganan dan pemindahan biogas. Konstruksi dari digester ini sederhana, terbuat dari plastik dengan ujung-ujungnya dipasang pipa masuk untuk kotoran ternak dan pipa keluar peluapan slurry, sedangkan pada bagian atas dipasang pipa keluar gas. Digester ini terdiri dari atas satu bagian yang berfungsi sebagai digester sekaligus penyimpanan gas, keduanya 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)

Jika 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 sumur 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 penunjang dalam kegiatan praktikum (Irianto dan Dzulfikar, 2018). Alat praktikum sangat dibutuhkan dalam bidang pendidikan terutama untuk pembelajaran sains. Penggunaan alat praktikum dalam pembelajaran sains membantu peserta didik untuk memahami konsep sains (Widayanti dan Yuberti, 2018). Menurut Juvitasari dkk. (2018) pengetahuan alat sangat penting guna mendukung kegiatan praktikum. Pengetahuan tentang alat praktikum meliputi nama alat, fungsi alat dan cara menggunakannya harus dimiliki peserta didik sebelum melaksanakan praktikum. Peserta didik yang memiliki pengetahuan tentang alat praktikum akan lebih terampil dalam praktikum sehingga akan terhindar dari kecelakaan. Sementara minimnya pengetahuan alat akan menghambat kelancaran saat praktikum bahkan dapat mendatangkan bahaya (Hendrawan dkk., 2021; Cahyaningrum dkk., 2019).

Menurut Tim Penyusun (2011), pengembangan alat praktikum IPA sederhana sangat penting bagi guru/sekolah guna melengkapi peralatan yang dibutuhkan dalam pembelajaran. Selain itu, pengembangan alat praktikum IPA sederhana 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 alat praktikum IPA, 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. Misalnya: bel listrik sederhana atau cakram newton.
- 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. Misalnya: slide proyektor atau episkop sederhana.

Menurut Tim Penyusun (2011), pada pembuatan alat praktikum IPA terdapat 12 kriteria yaitu sebagai berikut:

- a. Bahan mudah di peroleh.
- b. Mudah dalam perancangan dan pembuatannya.
- c. Mudah dalam perakitanannya.
- d. Mudah dioperasikan.
- e. Dapat memperjelas/menunjukkan konsep dengan baik.
- f. Dapat meningkatkan motivasi peserta didik.
- g. Tidak berbahaya ketika digunakan.
- h. Akurasi cukup bisa diandalkan.
- i. Menarik.
- j. Daya tahan alat cukup baik.
- k. Inovatif dan kreatif.
- l. Bernilai pendidikan.

E. Penelitian Relevan

Penelitian pengembangan terkait alat pengolahan biogas atau biodigester telah banyak dilakukan di antaranya sebagai berikut: Yuwono dan Soehartanto (2013) merancang bioreaktor dengan pengaduk. Bioreaktor dibuat dari ember cat berbahan plastik dengan tebal 1 cm dan volume 25 liter. Bioreaktor ini juga telah dilengkapi dengan lubang *inlet* untuk memasukkan substrat, valve untuk membuka dan menutup lubang *inlet*, lubang untuk memeriksa suhu dan pH, dua kran *outlet* yang digunakan sebagai saluran pembuangan, dan agitator sebagai sistem

pengadukan. Bioreaktor dengan pengaduk hasil pengembangan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bioreaktor hasil pengembangan Yuwono dan Soehartanto (2013).

Sistem pengadukan berguna untuk menghomogenkan substrat dari limbah cair tahu dan eceng gondok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioreaktor ber-pengaduk menghasilkan biogas yang lebih banyak dibandingkan dengan bioreaktor tidak berpengaduk. Adapun kelemahan dari bioreaktor ini yaitu kran sebagai saluran pembuangan terlalu kecil, tidak dilengkapi dengan penampung biogas, dan bioreaktor memiliki volume yang cukup besar sehingga diperlukan substrat yang banyak.

Basri dkk. (2019) mengembangkan reaktor biogas skala rumah tangga. Reaktor dibuat dari drum plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan kapasitas 100 liter. Reaktor biogas ini terdiri atas saluran pengisian kotoran sapi, saluran pembuangan kotoran sapi, saluran keluar biogas, pengaduk, termometer, manometer, penampung gas berupa ban bekas, rangka untuk reaktor yang terbuat dari kayu, serta tabung kontrol gas. Reaktor biogas ini dengan memanfaatkan kotoran sapi dapat menghasilkan volume biogas 160,1 liter dengan volume bahan isian 92 liter. Akan tetapi, reaktor biogas ini skalanya besar sehingga bahan yang diperlukan cukup banyak dan membutuhkan waktu yang lama untuk produksi biogas. Hasil pengembangan reaktor biogas ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Reaktor biogas hasil pengembangan Basri dkk. (2019).

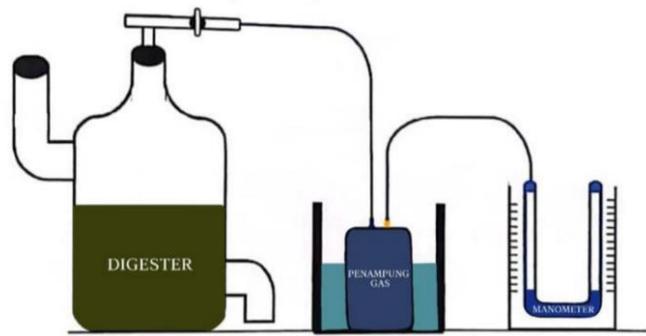
Widyasari (2022) mengembangkan reaktor biogas skala laboratorium dari botol kaca bekas. Alat yang digunakan adalah botong kaca dengan volume 140 ml, tutup botol aluminium, pipa sambungan kepala tiga, lem tembak, dan plastisin. Reaktor ini berhasil menghasilkan gas metana dari campuran inokulum dan kulit jagung. Namun, ukuran reaktor ini terlalu kecil sehingga gas yang dihasilkan juga sedikit. Karena gas yang dihasilkan terlalu sedikit maka di khawatirkan tidak dapat menyalakan api. Selain itu, reaktor ini terbuat dari botol kaca yang rawan pecah sehingga kurang aman untuk peserta didik. Adapun hasil pengembangan reaktor biogas dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Reaktor biogas hasil pengembangan Widyasari (2022).

Selain itu, Sari dkk. (2023) membuat miniatur reaktor biogas dari galon bekas. Bahan utama yang digunakan adalah galon air mineral bekas sebagai digester, kaleng bekas sebagai tempat penampung gas, dan selang sebagai manometer.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa miniatur reaktor biogas dari bahan bekas yang mudah didapatkan dan murah dapat menghasilkan biogas. Akan tetapi, penampung gas pada reaktor ini terbuat dari bahan kaleng yang mudah berkarat dan mudah pecah jika menampung tekanan gas yang cukup tinggi. Hasil pengembangan reaktor biogas dapat dilihat pada Gambar 9.

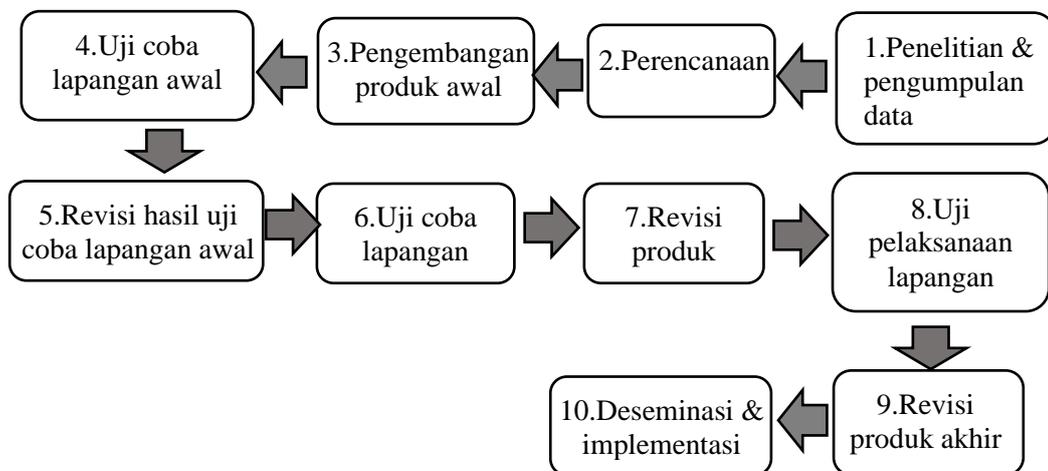


Gambar 9. Reaktor biogas hasil pengembangan Sari dkk. (2023)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan atau *Research and Deleopment* (R&D). Penelitian dan pengembangan adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk baru atau menyempurnakan produk yang sudah ada (Borg & Gall, 1989). Menurut Borg & Gall dalam penelitian dan pengembangan terdapat sepuluh tahap yang dapat dilihat pada gambar berikut:

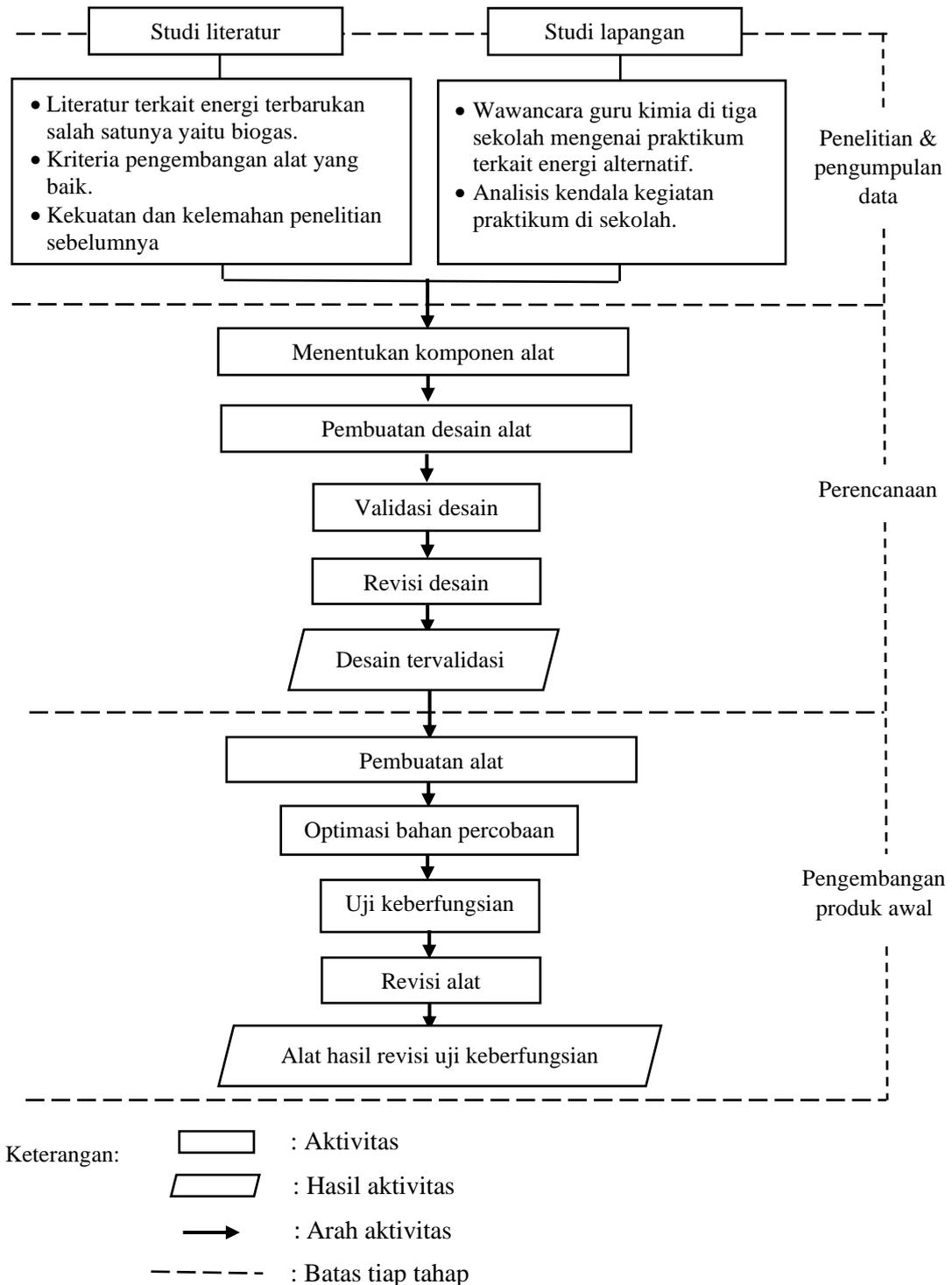


Gambar 10. Tahapan penelitian dan pengembangan menurut Borg & Gall (1989)

Tahapan dalam penelitian dan pengembangan (R & D) ini hanya dilakukan sampai tahap pengembangan produk awal. Hal tersebut disebabkan karena keterbatasan waktu dan keahlian penelitian untuk melakukan tahap berikutnya.

B. Alur Penelitian

Adapun alur dalam penelitian dan pengembangan ini ditunjukkan pada Gambar 11 berikut:



Gambar 11. Alur penelitian alat penghasil biogas dengan pengaduk

Penjelasan dari alur penelitian dari Gambar 11 adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dan pengumpulan data

Tahap penelitian dan pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan informasi mengenai kondisi di lapangan yang digunakan sebagai bahan dasar atau acuan dalam pengembangan yang dilakukan. Tahap penelitian dan pengumpulan data terdiri dari studi literatur dan studi lapangan.

a. studi literatur

Studi literatur atau studi kepustakaan digunakan untuk mencari informasi yang relevan mengenai produk yang akan dikembangkan. Pada tahap ini, peneliti mengkaji capaian pembelajaran kimia pada kurikulum merdeka dan menelaah jurnal-jurnal penelitian terdahulu yang berkaitan dengan alat penghasil biogas (biodigester). Hasil dari kajian ini akan digunakan sebagai dasar atau acuan dalam pengembangan alat penghasil biogas dari kotoran sapi skala laboratorium sekolah dilengkapi dengan pengaduk.

b. studi lapangan

Studi lapangan bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari keadaan di sekolah serta mendapatkan informasi awal yang lengkap guna menentukan masalah yang akan diangkat dalam penelitian. Studi lapangan dilakukan di tiga sekolah yaitu SMA Negeri 14 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Gedung Tataan, dan SMA Negeri 2 Gadingrejo. Studi lapangan ini dilakukan melalui wawancara terhadap satu guru kimia pada masing-masing sekolah mengenai pembelajaran terkait energi alternatif, ketersediaan alat praktikum, dan kendala yang dihadapi.

2. Perencanaan

Pada tahap ini dilakukan perencanaan pembuatan alat penghasil biogas dilengkapi dengan sistem pengadukan yang meliputi menentukan karakteristik alat, menentukan komponen alat, dan pembuatan desain alat. Alat penghasil biogas yang akan dibuat merupakan modifikasi dari penelitian Yuwono dan Soehartanto (2013).

Modifikasi yang dilakukan di antaranya adalah volume reaktor, pengaduk, saluran *input* dan *output*, serta penambahan komponen lain.

a. Menentukan komponen alat

Alat penghasil biogas yang akan dibuat terdiri dari reaktor, saluran *input*, saluran *output*, pengaduk, manometer, dan penampung biogas. Pertimbangan dalam pemilihan komponen alat mengacu pada karakteristik alat yang akan dibuat yaitu volume alat tidak begitu besar, komponen mudah diperoleh dalam kehidupan sehari-hari, biaya yang ekonomis, mudah dirangkai, bahan komponen tahan terhadap tekanan gas dan korosi, serta aman untuk praktikum di sekolah. Selain itu, rangkaian alat penghasil biogas dari kotoran sapi harus bersifat kedap udara (anaerob), artinya tidak ada kebocoran pada rangkaian alat.

b. Pembuatan desain alat

Pembuatan desain alat ini bertujuan untuk mempermudah dalam pengembangan alat yang dilakukan, karena dengan desain ini dapat memberikan gambaran bagaimana alat tersebut akan dibuat. Selain itu, desain alat ini juga dapat digunakan untuk membuat perkiraan dalam kemudahan pembuatan dan biaya yang diperlukan. Pembuatan desain alat penghasil biogas yang akan dikembangkan menggunakan aplikasi CANVA karena mudah dalam penggunaannya, tersedia banyak elemen, dapat diakses dimana saja dan kapan saja melalui aplikasi di perangkat mobile maupun web, serta menyediakan berbagai opsi untuk mengunduh desain dalam format yang berbeda, seperti PNG, JPG, PDF, atau video. Pembuatan desain disesuaikan dengan komponen-komponen yang digunakan dan rangkaian alat yang akan dibuat.

c. Validasi desain

Desain alat yang telah dibuat kemudian di validasi oleh validator ahli. Validator terdiri dari tiga orang dosen FKIP Universitas Lampung yaitu dua orang dosen program studi Pendidikan Kimia dan satu orang dosen program studi Pendidikan Fisika. Tujuan dari validasi desain yaitu untuk meminimalisir kesalahan dalam

pembuatan alat yang dikembangkan. Aspek yang dinilai dalam validasi ini mencakup kemudahan memperoleh komponen penyusun alat sesuai dengan desain yang dibuat, keterjangkauan perkiraan biaya dalam pembuatan alat, mudah dirangkai, mudah dioperasikan, komponen yang aman, menarik, daya tahan yang baik, serta inovatif, dan kreatif. Apabila hasil validasi desain telah valid maka desain dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan alat, namun jika terdapat saran perbaikan maka akan dilakukan perbaikan sesuai dengan saran yang diberikan. Setelah dilakukan perbaikan kemudian desain diserahkan kembali pada validator.

3. Pengembangan produk awal

Tahap pengembangan produk awal dilakukan melalui beberapa tahap yaitu sebagai berikut:

a. pembuatan alat penghasil biogas

Pada langkah ini dilakukan pembuatan alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan sistem pengadukan. Pembuatan alat disesuaikan dengan desain alat yang telah divalidasi oleh validator. Penyesuaian ini meliputi volume alat dan komponen-komponen alat yang ada pada desain yang telah divalidasi.

b. optimasi bahan percobaan

Optimasi bahan sebelum melakukan percobaan pembuatan biogas berguna untuk mengurangi risiko kegagalan, meningkatkan efisiensi produksi, dan memastikan kualitas hasil akhir yang lebih baik. Pertama dilakukan optimasi untuk volume *slurry* 80% dari volume reaktor (4 liter) dengan perbandingan 1:1 (1,6 kg kotoran sapi : 1,6 kg air), 1:2 (1,1 kg kotoran sapi : 2,1 kg air), dan 2:1 (2,1 kg kotoran sapi : 1,1 kg air). Proses produksi biogas membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga diperlukan zat tambahan sebagai katalisator yaitu dengan ditambahkan 10 ml EM 4 pada masing-masing komposisi. Kotoran sapi yang digunakan adalah kotoran sapi dewasa yang baru 3-10 jam di tanah. Setelah diperoleh komposisi yang paling banyak menghasilkan biogas selama 10 hari kemudian dilakukan optimasi jenis zat tambahan yaitu perbandingan antara penambahan 10 gram ragi

dan 10 ml EM 4. Berdasarkan hasil optimasi, komposisi bahan *slurry* yang digunakan adalah komposisi yang menghasilkan biogas paling banyak dalam waktu 10 hari.

c. uji keberfungsian

Alat penghasil biogas yang telah dibuat kemudian dilanjutkan ketahap uji keberfungsian oleh validator ahli. Validator terdiri dari tiga orang dosen FKIP Universitas Lampung yaitu dua orang dosen program studi Pendidikan Kimia dan satu orang dosen program studi Pendidikan Fisika. Pada tahap ini dilakukan pembuatan video percobaan produksi biogas menggunakan alat hasil pengembangan. Uji keberfungsian dilakukan untuk mengetahui keberfungsian tiap komponen alat penghasil biogas yang dikembangkan. Uji keberfungsian dilakukan dengan cara memberikan video percobaan dan kuesioner uji keberfungsian alat penghasil biogas kepada validator untuk divalidasi

d. revisi alat penghasil biogas

Revisi alat penghasil biogas dilakukan dengan mempertimbangkan penilaian dari validator terhadap keberfungsian tiap komponen alat penghasil biogas yang dikembangkan. Pada tahap ini dilakukan penyempurnaan alat penghasil biogas dengan melakukan perbaikan berdasarkan kelemahan dari hasil uji keberfungsian.

C. Subyek dan Lokasi Penelitian

Subyek dalam penelitian ini yaitu alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan sistem pengadukan. 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 penggunaa alat penghasil biogas hasil pengembangan yang dilakukan di Bandar Lampung, kemudian penilaian uji keberfungsian dilakukan 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 melalui jawaban kuesioner dari validator saat validasi desain alat. Pada tahap pengembangan produk awal, data diperoleh melalui jawaban kuesioner dari validator saat uji keberfungsian alat.

E. Instrumen Penelitian

Adapun instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Instrumen pada tahap penelitian dan pengumpulan data

Instrumen yang digunakan pada tahap ini berupa pedoman wawancara guru. Pedoman wawancara ini berisi daftar pertanyaan mengenai keterlaksanaan kurikulum merdeka di sekolah, metode pembelajaran yang digunakan guru, pembelajaran yang dilakukan terkait energi alternatif, ketersediaan alat praktikum pembuatan biogas di sekolah dan kendala 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 pada tahap perencanaan

Instrumen yang digunakan pada tahap ini berupa kuesioner validasi desain alat penghasil biogas dengan pengaduk yang diisi oleh validator ahli. Kuesioner ini berisi pernyataan tentang kriteria yang harus dipenuhi dalam pengembangan alat penghasil biogas yang dilakukan. Kriteria tersebut mencakup komponen mudah diperoleh, komponen relatif murah, mudah dirangkai, mudah dioperasikan, komponen yang aman, menarik, daya tahan yang baik, inovatif, dan kreatif. Cara pengisian kuesioner ini mengikuti petunjuk yang ada pada kuesioner.

3. Instrumen pada tahap pengembangan produk awal

Instrumen yang digunakan pada tahap ini berupa kuesioner uji keberfungsian yang diisi oleh validator ahli. Kuesioner ini berisi pernyataan untuk mengetahui keberfungsian tiap komponen pada alat penghasil biogas hasil pengembangan. Cara pengisian kuesioner ini mengikuti petunjuk yang ada pada kuesioner.

F. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah wawancara dan kuesioner. Wawancara yang dilakukan yaitu wawancara terstruktur dimana pewawancara telah membuat daftar pertanyaan dalam bentuk tertulis yang akan ditanyakan secara lisan kepada responden. Menurut Sugiyono (2022), kuesioner merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan memberikan pertanyaan atau pertanyaan tertulis kepada responden untuk di jawab. Kuesioner diberikan langsung kepada responden yang berisi pertanyaan/pernyataan terbuka atau tertutup. Pada kuesioner juga disertakan kolom komentar atau saran perbaikan. Responden diminta untuk mengisi kuesioner sesuai dengan petunjuk pengisian kuesioner.

G. Analisis Data

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis data dari hasil jawaban kuesioner validasi desain alat dan uji keberfungsian adalah sebagai berikut:

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

Tabel 2. Pedoman penskoran kuesioner berdasarkan skala *Likert*

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

(Sugiyono, 2012)

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

Tabel 3. Pedoman pengolahan jumlah skor jawaban kuesioner

Pilihan jawaban	Skor	Jumlah Responden (YS)
Sangat setuju (SS)	S ₁	Y _{S1}
Setuju (S)	S ₂	Y _{S2}
Kurang Setuju (KS)	S ₃	Y _{S3}
Tidak Setuju (TS)	S ₄	Y _{S4}
Sangat Tidak Setuju (STS)	S ₅	Y _{S5}

- 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

$Y_{S1, S2, S3, S4, S5}$ = Jumlah responden yang menjawab (Sudjana, 2005)

- d. Menghitung persentase jawaban responden setiap item dengan menggunakan rumus berikut:

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

Keterangan:

$\%X_{in}$ = persentase pilihan jawaban i

$\sum S$ = jumlah skor jawaban i

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

- e. Menghitung rata-rata persentase setiap aspek dari persentase setiap pertanyaan kuesioner untuk mengetahui persentase ketercapaian setiap aspek dari alat yang dikembangkan dengan menggunakan rumus berikut:

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

Keterangan:

$\overline{\%X_i}$ = rata-rata persentase kuesioner-i

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

n = Jumlah pertanyaan pada setiap aspek (Sudjana, 2005)

- f. Menafsirkan persentase jawaban kuesioner secara keseluruhan dengan menggunakan tafsiran Arikunto (2010) yang ditunjukkan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Tafsiran persentase skor 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

- g. Menafsirkan kriteria validasi analisis persentase produk hasil validasi ahli dengan menggunakan tafsiran Arikunto (2010) seperti pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Kriteria validasi

Persentase (%)	Tingkat Kevalidan	Keterangan
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

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik alat penghasil biogas dilengkapi dengan sistem pengadukan yaitu menggunakan ember cat sebagai reaktor, menggunakan selang U berisi air berwarna sebagai pengukur tekanan gas, dinamo kipas angin sebagai pengaduk, kantung urin sebagai penampung gas, dan jarum pompa bola sebagai saluran uji nyala api.
2. Hasil penilaian validator terhadap keberfungsian alat penghasil biogas dilengkapi dengan sistem pengadukan sebesar 98% dengan kriteria sangat tinggi dan valid sehingga dapat disimpulkan bahwa alat penghasil biogas dapat berfungsi dengan baik dan layak untuk digunakan.

B. Saran

Saran dari peneliti berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui perbandingan komposisi bahan antara kotoran sapi dan air yang paling baik menggunakan alat penghasil biogas yang telah dikembangkan.
2. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut oleh peneliti lain untuk menyempurnakan alat penghasil biogas yang sudah ada.
3. Perlu dilakukan uji lapangan untuk mengetahui efektivitas alat penghasil biogas yang dikembangkan dalam meningkatkan kompetensi peserta didik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, N., Octaviani, T. P., Sholikhah, U., & Ismawati, R. 2021. Analisis Pemahaman Konsep IPA pada Siswa SMP dengan Kegiatan Praktikum. *Jurnal Pendidikan IPA*, 11(2), 84-88.
- Anggraini, Y., & Yuniahastuti, I. T. 2019. Efisiensi Pemakaian Listrik Dengan Pelatihan Saving Energy Di Desa Panemo. *Jurnal ABDI: Media Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 7-14.
- Arikunto, S. 2010. *Penilaian Program Pendidikan Edisi Ketiga*. Jakarta : Bina Aksara.
- Barlian, U. C., Solekah, S., & Rahayu, P. 2022. Implementasi Kurikulum Merdeka Dalam Meningkatkan Mutu Pendidikan. *Journal of Educational and Language Research*, 1(12), 2105-2118.
- Basri, A. K., Kadirman, K., & Jamaluddin, J. 2019. Rancang Bangun Reaktor Biogas Skala Rumah Tangga. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5(1), 79-84.
- Bodhe, A., Detha, 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. and Gall, M. D. 1989. *Educational Research: An Introduction*. 5th Ed. New York: Longman, Inc.
- Budiyanto, M. A. K. 2011. Tipologi Pendayagunaan Kotoran Sapi dalam Upaya Mendukung Pertanian Organik di Desa Sumbersari Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. *Jurnal Gamma*, 7(1), 42-49.
- Cahyaningrum, D., Sari, H. T. M., & Iswandari, D. 2019. Faktor-Faktor Yang Berhubungan dengan Kejadian Kecelakaan Kerja di Laboratorium Pendidikan. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 1(2), 41-47.

- Dewi, R. P., dan Kholik, M. 2018. Kajian Potensi Pemanfaatan Biogas sebagai Salah Satu Sumber Energi Alternatif di Wilayah Magelang. *Journal of Mechanical Engineering*, 2(1), 8-14.
- Fadiawati, N., & Tania, L. 2014. *Efektivitas Pendekatan Saintifik dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kreatif Siswa pada Materi Kesetimbangan Kimia*. Laporan Penelitian. Bandar Lampung, (tidak diterbitkan).
- Fathurrohman, A., & Adam, M. A. 2015. Persepsi Peternak Sapi dalam Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas di Desa Sekarmojo Purwosari Pasuruan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, 25(2), 36-42.
- Fattah, F., & Kahfi, A. A. 2017. Proses Desain Pengembangan Digester Biogas Umt 2017 untuk Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Bahan Baku Kotoran Ternak Sapi. Motor Bakar: *Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), 1-7.
- 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.
- Habib, M. A. F., Nuriski, W. N. K. Y., & Zamzami, R. 2022. Be Kepo (Bioetanol Ketela Pohon) Inovasi Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat dan Solusi Sumber Energi Alternatif Terbaharukan. *Jurnal Pendidikan*, 10(1), 110-123.
- Hadinata, F., Nurjannah, S. A., Indriyati, C., Muhtarom, A., & Daud, A. 2020. Pengolahan Sampah Organik secara Biologis dengan Biodigester Biogas di Daerah Pinggiran Kota Palembang. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research*, 774-779.
- Halkos, G., & Zisiadou, A. 2023. Energy Crisis Risk Mitigation through Nuclear Power and RES as Alternative Solutions towards Self-Sufficiency. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(1), 45.
- Haryati, T. 2006. Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Wartazoa*, 16(3), 160-169.
- Hendrawan, E., Hadi, L., Sahputra, R., Enawaty, E., & Rasmawan, R. 2021. Deskripsi Pengetahuan Alat-Alat Praktikum Kimia Peserta Didik. Edukatif: *Jurnal Ilmu Pendidikan*, 3(5), 3385-3396.
- Huda, S., & Wikanta, W. 2017. 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. *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.
- Irianto, F. S., & Dzulfikar, M. 2018. Perancangan Alat Praktikum Konduktivitas Termal. *CENDEKIA EKSAKTA*, 2(2), 8-16.
- Juvasari, P. M., Melati, H. A., & Lestari, I. 2018. Deskripsi Pengetahuan Alat Praktikum Kimia dan Kemampuan Psikomotorik Siswa MAN 1 Pontianak. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Khatulistiwa*, 7(7), 1-13.
- Karaman, N., Adyono, N., Sari, T. P., Edahwati, L., & Lestari, W. D. (2021). Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi (Biogas) Rumah Tangga di Kabupaten Sampang Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Abdi 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.
- Mara, M. 2012. Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) dengan Larutan NaOH terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(1), 1-8.
- Napis, Muhammad, F. R., Arif, R. H., & Muhammad, T. A. 2023. Meningkatkan Kesadaran Masyarakat dalam Budaya Hemat Energi Melalui Penyuluhan Efisiensi Penggunaan Listrik Rumah Tangga. *Jurnal Pendidikan dan Pengabdian Masyarakat*, 6(2), 107-115.
- Nasution, L., & Arifah, R. 2022. *Pengembangan Energi Alternatif dengan Briket Arang Melalui Pemanfaatan Sampah Organik (Vol. 1)*. Medan : umsu press.
- 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.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. 2020. Konversi Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88-92.
- Pratiwi, I., Permatasari, R., & Homza, O. F. 2019. Produksi Biogas dari Limbah Kotoran Sapi dengan Digester Fixed Drum. *Aptekmas Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 2(3), 7-16.

- Prihatiningtyas, S., Sholihah, F. N., & Nugroho, M. W. 2019. *Biodigester untuk Biogas*. Jombang : Fakultas Pertanian Universitas KH. Wahab Hasbullah.
- Priyarsono, D. S., Tambunan, M., & Firdaus, M. 2012. Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia. *Journal of Agricultural Economics*, 1(02).
- Putra, G. M. D., Abdullah, S. H., Priyati, A., Setiawati, D. A., & Muttalib, S. A. 2017. Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable dari Limbah Kotoran Ternak Sapi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 5(1), 369-374.
- Rahayu, S., Purwaningsih, D., dan Pujianto. 2009. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosio Kulturalnya. *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni*, 13(2), 150-160.
- Rahmayanti, L., Rahmah, D. M., & Larashati, L. 2021. Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Minyak dan Gas Bumi di Indonesia. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia*, 3(2), 9-16.
- Salim, I., & Kafiar, 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.
- Sari, A. L. R., & Ulva, S. M. 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 Entwicklungs technologien*. Germany.
- 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.
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. 2021. Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020–2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154-162.

- Simamora, S., Salundik, Sri, W., & Surajudin. 2006. *Membuat Biogas; Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas dari Kotoran Ternak*. Jakarta : AgroMedia.
- Smal, T., & Wieprow, J. 2023. Energy Security in the Context of Global Energy Crisis: Economic and Financial Conditions. *Energies*, 16(4), 1605.
- Sudjana. 2005. *Metoda statistika Edisi keenam*. Bandung, Indonesia : Tarsito.
- Sugiyono, A. 2014. Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini. In *Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PI*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (pp. 9-16).
- Sugiyono, S. 2012. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan R & D*. Bandung : Alfabeta.
- Sugiyono, S. 2022. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan R & D*. Bandung : Alfabeta.
- Susana, I. G. B., & Suartika, I. M. 2017. Konversi Energi Biomassa Kotoran Sapi Melalui Rancangan Biodigester untuk Rumah Tangga. *Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 17(3), 163-165.
- 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. 2021. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuatan Biogas. *JOURNAL OF COMMUNITY EMPOWERMENT*, 3(1), 13-20.
- 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., & Nababan, C. S. 2021. Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(1), 201-207.
- Widayanti, W., & Yuberti, Y. 2018. Pengembangan Alat Praktikum Sederhana Sebagai Media Praktikum Mahasiswa. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah*, 2(1), 21-27.

- Widyasari, Y. E. 2022. Pemanfaatan Limbah Botol Kaca Bekas sebagai Reaktor Sederhana pada Pembuatan Biogas Skala Laboratorium. *Indonesian Journal of Laboratory*, 5(2), 60-68.
- Yulistia, E., & Alamsyah, P. 2023. Prospek dan Potensi Biogas sebagai Energi Alternatif Menghadapi Krisis Energi. *UNBARA Environmental Engineering Journal*, 3(02), 21-26.
- Yuwono, C. W., & Soehartanto, T. 2013. Perancangan Sistem Pengaduk Pada Bioreaktor *Batch* Untuk Meningkatkan Produksi Biogas. *Jurnal Teknik ITS*, 2(1), 141-146.