

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

(Skripsi)

Oleh

**ALVINA MIRANDA
NPM 2013023016**



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

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

Oleh

ALVINA MIRANDA

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 PENGUKUR TEKANAN SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN UNTUK PRAKTIKUM KIMIA KELAS X

Oleh

Alvina Miranda

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan, serta mendeskripsikan karakteristik dan keberfungsian alat. Alat yang dikembangkan merupakan pengembangan dari alat yang sudah ada kemudian di modifikasi berskala laboratorium sekolah dan dapat digunakan untuk praktikum kimia kelas X. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (R&D) menurut Borg and Gall yang dilakukan sampai tahap ketiga dari sepuluh tahap yaitu penelitian dan pengumpulan data, perencanaan, dan pengembangan draf awal. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pedoman wawancara dan kuesioner. Sumber data dalam penelitian ini yaitu guru kimia SMA kelas X serta validator ahli FKIP Universitas Lampung.

Karakteristik alat penghasil biogas yang telah dikembangkan yaitu komponen menggunakan jerigen plastik 5 liter sebagai reaktor, manometer tipe selang U sebagai pengukur tekanan, plastik *urine bag* 2 liter sebagai penampung biogas, dan jarum pompa sebagai saluran uji nyala api. Hasil validasi desain diperoleh persentase keseluruhan sebesar 93% menunjukkan desain alat memiliki kriteria sangat tinggi dan valid. Hasil validasi uji keberfungsian menunjukkan alat memiliki kriteria sangat tinggi dan valid secara keseluruhan sebesar 97%, dengan persentase keberfungsian lubang kepala jerigen sebagai saluran *input* (100%), jerigen bersifat *anaerob* (100%), jerigen tahan terhadap tekanan gas (87%), manometer tipe selang U (93%), rangkaian pipa sambungan (93%), valve (100%), selang (100%), plastik *urine bag* (100%), jarum pompa (100%), dan rangkaian pipa *output* (100%). Berdasarkan hasil penelitian, alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan dapat berfungsi dengan baik sehingga layak untuk digunakan.

Kata kunci : alat penghasil biogas, biogas, kotoran sapi, pengukur tekanan

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A BIOGAS-PRODUCING DEVICE FROM COW DUNG EQUIPPED WITH A PRESSURE GAUGE AS A LEARNING MEDIA FOR CLASS X CHEMISTRY PRACTICE

By

Alvina Miranda

This study aims to develop a biogas production tool from cow manure equipped with a pressure gauge and to describe the characteristics and functionality of the tool. The tool developed is a development of an existing tool that is then modified on a school laboratory scale and can be used for class X chemistry practicals. The research method used is research and development (R&D) by Borg and Gall, carried out until the third stage of ten stages, namely research and data collection, planning, and development of the initial draft. The instruments used in this study consisted of interview guidelines and questionnaires. The data sources in this study were high school chemistry teachers of class X and expert validators from the FKIP University of Lampung.

The characteristics of the biogas production tool that has been developed are components using a 5-liter plastic jerry can as a reactor, a U-type hose manometer as a pressure gauge, a 2-liter plastic urine bag as a biogas container, and a pump needle as a flame test channel. The design validation results obtained an overall percentage of 93% indicating that the tool design has very high and valid criteria. The results of the functional test validation showed that the tool has very high and valid criteria as a whole of 97%, with the percentage of functioning of the jerrycan head hole as an input channel (100%), anaerobic jerrycan (100%), jerrycan resistant to gas pressure (87%), U-hose type manometer (93%), a series of connecting pipes (93%), valve (100%), hose (100%), urine bag plastic (100%), pump needle (100%), and a series of output pipes (100%). Based on the study's results, the biogas-producing tool from cow dung is equipped with a pressure gauge that can function properly and be suitable for use.

Keywords : biogas, biogas-producing equipment, cow dung, pressure gauge

Judul Skripsi

: PENGEMBANGAN ALAT PENGHASIL
BIOGAS DARI KOTORAN SAPI DILENGKAPI
DENGAN PENGUKUR TEKANAN SEBAGAI
MEDIA PEMBELAJARAN UNTUK
PRAKTIKUM KIMIA KELAS X

Nama Mahasiswa

: *Alvina Miranda*

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2013023016

Program Studi

: Pendidikan Kimia

Jurusan

: Pendidikan MIPA

Fakultas

: Keguruan dan Ilmu Pendidikan



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

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

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

2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA

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

MENGESAHKAN

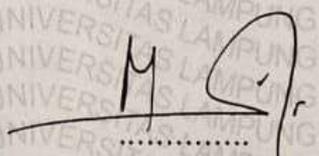
1. Tim Penguji

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 197608082009121001

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

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Alvina Miranda
NPM : 2013023016
Program Studi : Pendidikan Kimia
Jurusan : Pendidikan MIPA
Judul Skripsi : Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi
Dilengkapi dengan Pengukur Tekanan sebagai Media
Pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X

Dengan ini menyatakan bahwa karya ilmiah saya yang tertulis dalam bentuk skripsi sebagaimana disebutkan di atas merupakan hasil karya saya sendiri dan saya bertanggung jawab secara akademis atas apa yang telah saya tulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan benar tanpa ada tekanan atau paksaan dari pihak manapun. Apabila di kemudian hari terdapat ketidakbenaran pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Lampung.

Bandarlampung, 22 Januari 2025
Yang Membuat Pernyataan,



Alvina Miranda
NPM 2013023016

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Daya Murni, Lampung pada tanggal 19 September 2002, sebagai putri pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Misnar dan Ibu Dalila. Pendidikan formal diawali pada tahun 2006 di TK Xaverius Dipasena Agung dan lulus pada tahun 2008. Kemudian pada tahun 2008 melanjutkan Pendidikan di SD Negeri 1 Dipasena Agung selama 3 tahun dan menyelesaikan di SDS Islam Al-Furqon lulus pada tahun 2014. Selanjutnya pada tahun 2014 melanjutkan Pendidikan di SMP Negeri 2 Tulang Bawang Tengah dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun yang sama melanjutkan Pendidikan di SMA Negeri 1 Tulang Bawang Tengah dan lulus pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah mengikuti organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa BEM FKIP sebagai anggota divisi Pemberdayaan Perempuan dan HIMASAKTA sebagai anggota bidang kreativitas mahasiswa dan pada tahun 2022 pernah menjadi KOMDIS (Komisi Disiplin) ANORGANIK FOSMAKI. Pada tahun 2023 penulis mengikuti kegiatan PMW Universitas Lampung.

Pengalaman mengajar dan mengabdikan yang pernah diikuti selama perkuliahan yaitu PLP (Praktik Pengenalan Lapangan Persekolahan) yang terintegrasi dengan KKN (Kuliah Kerja Nyata) di Kampung Tanjung Kurung, Kasui, Way Kanan, Lampung, pada tahun 2023. Menjadi guru pengganti di SMK Gajah Mada Bandar Lampung pada tahun 2024.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan Rahmat Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Alhamdulillah atas karunia-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Dengan mengharap ridho-Mu, ku persembahkan skripsi ini

kepada :

Ayahku tercinta Misnar dan Bundaku tersayang Dalila

Terimakasih atas perjuangan dan dukungan yang sangat luar biasa yang diberikan padaku serta do'a yang senantiasa mengiringi setiap langkahku

Kedua adik laki – laki kesayanganku Ahmad Aldi dan Ahmad Afrizal

Kalian berdua menjadi penyemangat kanjeng untuk senantiasa bersabar
Semoga kita bertiga menjadi anak yang membanggakan kedua orang tua
Aamiin ya Robbal'alamin

Teruntuk keluargaku, dan seluruh sahabatku tercinta yang senantiasa memberikan motivasi, semangat dan kasih sayangnya.

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

Jangan takut tertinggal oleh orang lain, karena setiap orang punya jalan dan masanya tersendiri, nikmati proses dirimu, jalani dan syukuri takdirmu.

(Alvina Miranda)

Kesuksesan bukanlah akhir, kegagalan bukanlah fatal: yang penting adalah keberanian untuk terus berusaha.

(Winston Churchill)

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat diselesaikannya skripsi yang berjudul “Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi Dilengkapi dengan Pengukur Tekanan sebagai Media Pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X” sebagai syarat untuk mencapai gelar sarjana pendidikan di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Riswandi, M.Pd., selaku Plt. Dekan FKIP 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;
4. Ibu Dr. Noor Fadiawati, M.Si., selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, waktu dan motivasinya dalam penyelesaian skripsi ini;
5. Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si., selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasinya dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Ibu Dr. M. Setyarini, M.Si., selaku Pembahas atas masukan, perbaikan, dan motivasinya yang telah diberikan;
7. Ibu Dra. Nina Kadaritna, M.Si, selaku dosen validator alat yang telah memberikan penilaian serta motivasi;
8. Bapak Mohammad Ahdiat, S.Pd., M.PKim, selaku dosen validator alat yang telah memberikan penilaian, saran, serta motivasi;
9. Ibu Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku dosen validator alat yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta penilaian.

10. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Pendidikan Kimia dan seluruh staf Jurusan Pendidikan MIPA, FKIP Universitas Lampung, atas ilmu yang diberikan;
 11. Tim Partner Skripsi (Khomsatun dan Mulyawan) terima kasih atas kebersamaan, motivasi, suka, duka, tawa, tangis, gagal, berhasil yang kita rasakan bersama dan dukungannya selama perkuliahan maupun penyusunan skripsi ini;
 12. Sahabatku besty capek (Upit dan Ika) terima kasih sudah mau menjadi temanku, yang selalu menemaniku, membantuku, menyemangatiku, semua cerita kita takkan bisa dilupakan;
 13. Seluruh teman-teman kuliahku, khususnya teman-teman pendkim 20 terima kasih sudah mau berbagi kisah kalian semua denganku kita semua hebat, kuat dan pasti bisa melanjutkan hidup yang baik.
- serta semua pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca umumnya.

Bandar Lampung, 22 Januari 2025

Penulis,

Alvina Miranda
NPM 2013023016

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
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.....	11
C. Biodigester	12
D. Alat Praktikum	19
E. Penelitian Relevan	20
III. METODELOGI PENELITIAN.....	24
A. Metode Penelitian	24
B. Subjek dan Lokasi Penelitian	24
C. Alur Pengembangan	25
D. Sumber Data dan Data Penelitian	29
E. Instrumen Penelitian	30
F. Teknik Pengumpulan Data	31
G. Analisis Data	31
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	34
A. Tahap penelitian dan pengumpulan data.....	34
B. Tahap Perencanaan.....	35
C. Tahap Pengembangan Produk Awal	40
V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
A. Kesimpulan	52

B. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	59
1. Lembar kuesioner validasi desain (validator 1).....	60
2. Lembar kuesioner validasi desain (validator 2).....	63
3. Lembar kuesioner validasi desain (validator 3).....	66
4. Rekapitulasi hasil validasi desain alat penghasil biogas.....	69
5. Buku petunjuk penggunaan alat penghasil biogas.....	70
6. Buku penuntun praktikum.....	77
7. Lembar kuesioner uji keberfungsian (validator 1).....	81
8. Lembar kuesioner uji keberfungsian (validator 2).....	85
9. Lembar kuesioner uji keberfungsian (validator 3).....	89
10. Rekapitulasi hasil uji keberfungsian alat penghasil biogas.....	93
11. Pedoman wawancara.....	94
12. Dokumentasi penelitian.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Biogas Kotoran Sapi	12
2. Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis <i>Fixed Dome</i> (Kubah Tetap)	15
3. Penskoran Pada Kuesioner berdasarkan skala <i>Likert</i>	32
4. Jumlah skor jawaban responden	32
5. Tafsiran Skor (Persentase) Kuesioner	33
6. Kriteria validasi	33
7. Perubahan ketinggian air pada manometer	46
8. Data tekanan biogas	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Digester Jenis <i>Fixed Dome</i> (kubah tetap)	15
2. Digester Jenis <i>Floating Dome</i> (kubah tetap).....	16
3. Digester Jenis <i>Ballon Plant</i>	17
4. Digester Jenis <i>Plug Flow</i>	17
5. Reaktor biogas hasil pengembangan Erfiani dkk., (2023)	21
6. Reaktor biogas hasil pengembangan Sari dkk., (2023).....	22
7. Reaktor Biogas hasil pengembangan Arifin dkk., (2023).....	22
8. Reaktor biogas hasil pengembangan Arendra dkk., (2024)	23
9. Alur Pengembangan Alat	25
10. Desain pertama alat penghasil biogas	36
11. Desain kedua alat penghasil biogas.....	37
12. Desain ketiga alat penghasil biogas	38
13. Diagram persentase hasil validasi desain alat penghasil biogas	39
14. Alat penghasil biogas sesuai dengan desain	41
15. Alat penghasil biogas dilengkapi dengan pengukur tekanan,	43
16. Dokumentasi perubahan ketinggian air pada manometer	46
17. Pembakaran biogas.....	48
18. Diagram persentase hasil uji keberfungsian terhadap alat penghasil.....	49

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada dasarnya Indonesia adalah negara dengan potensi sumber energi yang melimpah. Energi berperan penting dalam menjalankan hampir setiap aspek kehidupan manusia (Sari dkk., 2023). Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, kebutuhan energi juga mengalami peningkatan sehingga menyebabkan menipisnya sumber cadangan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama (Sulaiman dkk., 2021). Sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara akan tetap habis dalam waktu kurang dari sepuluh hingga lima puluh tahun ke depan (Lutfi et al., 2021). Berkurangnya cadangan energi fosil dapat menimbulkan kelangkaan energi yang berkelanjutan (Logayah et al., 2023).

Usaha untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi dari bahan bakar fosil telah banyak dilakukan (Ebhot & Jen, 2020). Berbagai negara melakukan upaya untuk mengantisipasi kelangkaan energi dengan inovasi teknologi energi terbarukan, efisiensi energi dan diversifikasi sumber energi serta dengan penghematan energi (Logayah et al., 2023; Stančín et al., 2020). Upaya yang dilakukan tersebut dapat dengan mengeksplorasi sumber energi dari berbagai sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti tanah, matahari, air, angin, gelombang dan mineral (Nathaniel et al., 2021; Damanik, 2023). Energi terbarukan yang berasal dari sumber daya alam tersebut dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber energi seperti biomassa, bioenergy, energi angin, energi hidro dan energi surya (Hendraloka dkk., 2022).

Kesadaran setiap warga negara dan negara-negara di seluruh dunia terhadap penggunaan energi terbarukan merupakan hal penting dalam memahami isu-isu

global (Basit & Komalasari, 2023). Pentingnya kesadaran terhadap penggunaan energi harus dimiliki oleh setiap manusia sedini mungkin, dalam hal ini pendidikan berperan penting agar peserta didik memiliki pengetahuan, perilaku yang bijak, serta memahami situasi berkenaan dengan isu global melalui pembelajaran (Syaifullah dkk., 2020; Basit & Komalasari, 2023). Kesadaran pendidikan di Indonesia sejalan dengan capaian pembelajaran dalam kurikulum merdeka pada fase E untuk pelajaran kimia, yaitu peserta didik memiliki kemampuan untuk merespon dan menyelesaikan masalah terkait isu-isu global terkait kelangkaan energi (Kemendikbudristek BSKAP, 2022).

Selanjutnya agar peserta didik dapat mencapai capaian pembelajaran tersebut, harus dihadapkan dengan permasalahan terkait kelangkaan energi dengan cara pemanfaatan sumber energi alternatif melalui percobaan praktikum yang akan menghasilkan biogas. Akan tetapi, untuk melaksanakan percobaan praktikum tersebut belum tersedia alat penghasil biogas yang sesuai untuk digunakan dalam laboratorium sekolah. Minimnya ketersediaan alat di laboratorium sekolah menjadi salah satu penyebab kegiatan praktikum jarang atau bahkan tidak dilaksanakan (Fadiawati, 2013). Keterbatasan alat untuk kegiatan praktikum di sekolah disebabkan biaya beli alat yang mahal, bahan yang dipakai sukar didapatkan sehingga kegiatan praktikum menjadi terhambat.

Terkait keterbatasan alat untuk kegiatan praktikum diperkuat sesuai hasil pada studi pendahuluan, diperoleh fakta di lapangan yang berasal dari wawancara terhadap 1 guru kimia kelas X di 3 SMA Negeri yang berbeda wilayah yaitu SMA Negeri 14 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Gedong tataan, serta SMA Negeri 2 Gading Rejo. Berdasarkan hasil wawancara diperoleh bahwa tiga SMA tersebut sudah menerapkan kurikulum merdeka pada kegiatan belajar, namun semua guru belum melakukan kegiatan praktikum dan umumnya hanya memberikan pengetahuan literasi terkait energi alternatif saja dimana salah satu kendalanya yaitu belum tersedia alat praktikum. Selanjutnya mengenai pengembangan alat, seluruh guru berpendapat bahwa perlu dilakukan pengembangan alat penghasil biogas yang mudah untuk digunakan, murah dalam segi biaya, dan aman saat digunakan.

Beberapa penelitian tentang pembuatan alat untuk menghasilkan biogas juga telah banyak dikembangkan, seperti rancang bangun reaktor biogas dari kotoran sapi dan sampah organik menggunakan drum plastik berukuran 120 L (Erfiani dkk., 2023). Rancang reaktor biogas dengan menggunakan kotoran sapi dan limbah rumah tangga menggunakan drum plastik 200 L dan ban bekas sebagai penampung gas (Arendra & Purwoko, 2024). Biodigester menggunakan galon bekas, kaleng bekas sebagai penampung gas dan manometer air yang terbuat dari selang (Sari dkk., 2023). Bangun reaktor biogas skala rumah tangga menggunakan drum plastik, tabung sebagai penampung gas, dan disertai pengaduk, termometer serta manometer untuk menghasilkan biogas dari kotoran sapi (Arifin dkk., 2023).

Reaktor biogas yang telah dikembangkan peneliti terdahulu banyak digunakan untuk skala besar dan pemakaian yang banyak, kemudian harga alat yang dipakai cukup mahal dan membutuhkan waktu yang lama. Selain itu, pengembangan reaktor yang dilakukan terdahulu ada yang menggunakan bahan kaleng sebagai penampung gas, yang dimana kaleng bisa pecah atau meledak jika terkena tekanan gas yang terlalu tinggi sehingga kurang optimal. Kemudian reaktor biogas peneliti terdahulu ada yang belum disertai dengan alat pengukur tekanan dan ada yang menggunakan manometer tipe analog sebagai pengukur tekanannya, akan tetapi untuk mengukur tekanan biogas dalam skala sangat kecil lebih baik menggunakan manometer yang lebih sederhana seperti manometer tipe U di karenakan dapat berfungsi memberikan pembacaan tekanan yang lebih akurat.

Berdasarkan uraian tersebut, agar dapat melaksanakan kegiatan praktikum di sekolah maka perlu dilakukan pengembangan alat penghasil biogas skala laboratorium sekolah disertai dengan alat pengukur tekanan biogas sehingga lebih efektif saat digunakan serta menggunakan bahan yang lebih aman dan biaya yang terjangkau. Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang berjudul “Pengembangan Alat Penghasil Biogas dari Kotoran Sapi Dilengkapi dengan Pengukur Tekanan Sebagai Media Pembelajaran untuk Praktikum Kimia Kelas X”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan yang dikembangkan ?
2. Bagaimana keberfungsian dari alat yang dikembangkan ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan karakteristik alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan
2. Mendeskripsikan keberfungsian alat yang dikembangkan

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini menghasilkan alat penghasil biogas dilengkapi dengan pengukur tekanan dan memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Guru

Adanya alat penghasil biogas dari kotoran sapi diharapkan dapat digunakan guru untuk 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 Penelitian

Untuk mencegah terjadinya miskonsepsi terhadap penelitian ini, maka diberikan batasan – batasan penelitian sebagai berikut :

1. Alat yang dikembangkan berupa alat penghasil biogas dari kotoran sapi skala laboratorium sekolah dilengkapi dengan pengukur tekanan untuk mengetahui tekanan biogas yang dihasilkan.
2. Jenis biodigester yang dikembangkan termasuk biodigester *fixed dome*, yaitu biodigester yang reaktornya memiliki volume tetap.
3. Cara pengoperasionalan pengisian bahan baku menggunakan *tipe batch*, dimana pengisian bahan hanya 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 salah satu bentuk energi alternatif yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Biogas adalah bahan bakar gas yang diperoleh dari fermentasi limbah, untuk menghasilkan energi listrik, memasak, pemanasan, dan biofuel untuk kendaraan (Oobileke et al., 2020). Menurut wahyuni, 2013 (dalam Karaman, 2021) nilai kalori dari 1 m³ biogas setara dengan 0,6–0,8 liter minyak tanah. Untuk menghasilkan listrik 1 Kwh dibutuhkan 0,62–1 m³ biogas yang setara dengan 0,52 liter minyak solar. Oleh karena itu biogas sangat cocok menggantikan minyak tanah, LPG dan bahan bakar fosil lainnya. Pemanfaatan limbah organik sebagai biogas merupakan salah satu alternatif yang tepat untuk mengatasi kelangkaan energi fosil di masa depan (Santoso dkk., 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 metanogenik 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 (CH₄) 50-70%, gas karbon dioksida (CO₂) 30-40%, gas hidrogen (H₂) 5-10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah sedikit 0,1%

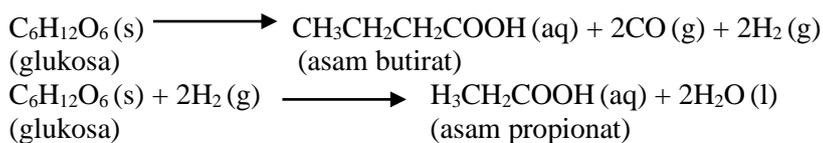
karbon monoksida (CO), 0,1% oksigen (O₂), nitrogen (N), hidrogen dan hidrogen sulfida (H₂S) (Salim & Kafiar, 2017). Menurut Salim & Kafiar, 2017 proses pembentukan biogas dibagi menjadi tiga tahap sebagai berikut:

1. Tahap hidrolisis (Hydrolysis)

Pada tahap ini terjadi peruraian bahan-bahan organik mudah larut dan bahan pencernaan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana, perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Dalam proses hidrolisis, molekul-molekul kompleks seperti karbohidrat, lemak, dan protein dihidrolisis menjadi gula, asam lemak dan asam amino oleh enzim ekstraselular dari bakteri fermentatif. Pada tahap hidrolisis, bahan organik padat maupun yang mudah larut berupa molekul besar dihancurkan menjadi molekul kecil agar molekul-molekul tersebut larut dalam air. Bakteri yang berperan dalam tahap hidrolisis ini adalah sekelompok bakteri anaerobik

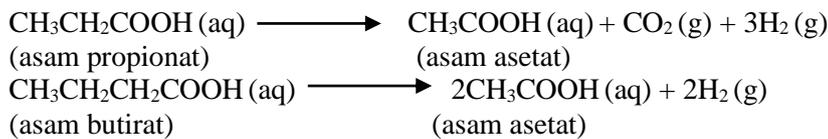
2. Tahap asidifikasi (Asidogenesis dan Asetogenesis)

Komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Pada tahap ini produk yang telah dihidrolisa dikonversikan menjadi asam lemak volatil (VFA), alkohol, aldehid, keton, amonia, karbondioksida, air dan hidrogen oleh bakteri pembentuk asam. Asam organik yang terbentuk adalah asam asetat, asam propionat, asam butirat dan asam valeric. Reaksi asidogenesis dapat dilihat di bawah ini



Produk yang terbentuk selama asetogenesis disebabkan oleh sejumlah mikroba yang berbeda, misalnya, *Syntrophobacter wolinii* dekomposer propionat dan *Wolfei syntrophomonos* dekomposer butirat dan pembentuk asam lainnya adalah *Clostridium spp*, *Peptococcus anerobus*, *Lactobacillus*, dan *Actinomyces*. Asam-asam organik ini dioksidasi terlebih dahulu menjadi asam asetat dan hidrogen oleh bakteri asetogenik penghasil hidrogen melalui proses yang disebut asetogenesis. Asetogenesis juga termasuk pada produksi asetat dari hidrogen dan karbon

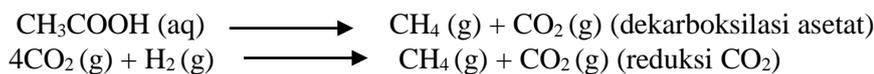
dioksidasi oleh asetogen dan homoasetogen. Reaksi asetogenesis dapat dilihat di bawah ini:



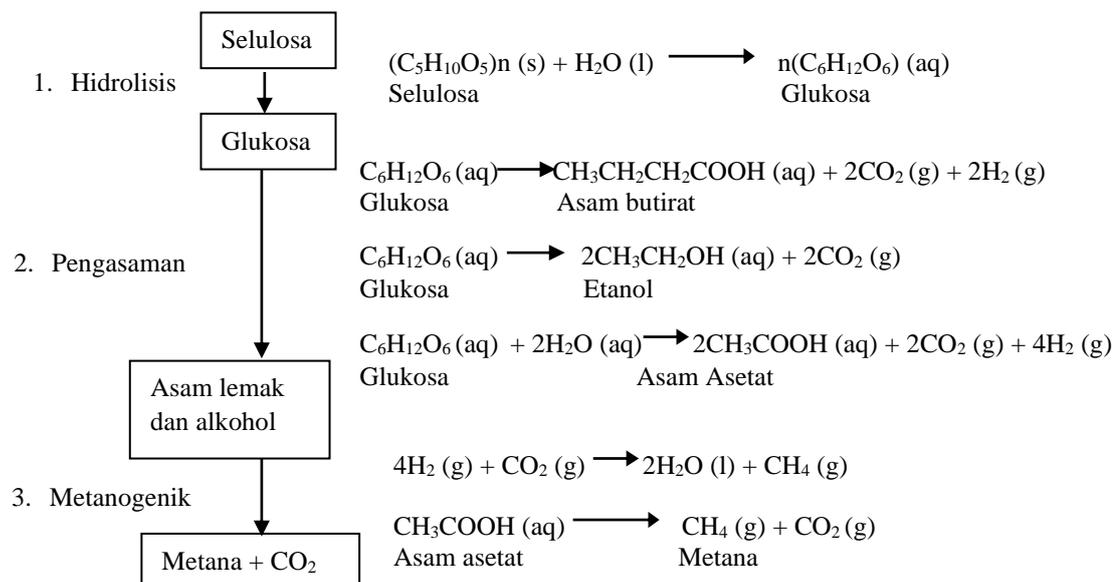
Pada tahap asetogenesis, sebagian besar hasil fermentasi asam harus dioksidasi di bawah kondisi anaerobik menjadi asam asetat, CO_2 , dan hidrogen yang akan menjadi substrat bakteri metanogen.

3. Tahap pembentukan gas metana (Methanogenesis)

Metanogenesis merupakan langkah penting dalam seluruh proses digestasi anaerobik, karena proses reaksi biokimia yang paling lambat. Komposisi bahan baku, laju umpan, temperatur, dan pH adalah contoh faktor yang mempengaruhi proses pembentukan gas metana. Pada akhirnya gas metana diproduksi dengan dua cara. Pertama adalah mengkonversikan asetat menjadi karbon dioksida dan metana oleh organisme asetotropik dan cara lainnya adalah dengan mereduksi karbon dioksida dengan hidrogen oleh organisme hidrogenotropik. Berikut ini adalah reaksi utama (reaksi metanogenesis) yang terlibat dalam konversi substrat menjadi metana dapat dilihat sebagai berikut:



Berikut tahap reaksi pembentukan biogas secara lengkap menurut (Haryati, 2006).



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 dkk., 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.

Reaksi pembakaran pada biogas adalah sebagai berikut :



Reaksi ini merupakan reaksi oksidasi yang menghasilkan panas dan cahaya.

Biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik (tanpa oksigen) pada limbah organik seperti kotoran sapi, sampah organik, dan lain-lain. Reaksi pembakaran biogas dapat digunakan untuk menghasilkan energi panas.

Biogas memiliki ciri-ciri yang 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 $4800\text{-}6200 \text{ kkal/m}^3$. Nilai panas pembakaran tersebut sedikit lebih rendah dari nilai pembakaran gas metana murni yang mencapai 8900 kkal/m^3 (Mara, 2012).

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

1. Kondisi digester harus anaerob (kedap udara)
2. Bahan baku

Bahan baku biogas berasal dari bahan organik seperti kotoran ternak dan harus terhindar dari bahan anorganik. Bahan organik yang digunakan sebaiknya merupakan campuran limbah pertanian dengan kotoran ternak.

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°-32°.

5. Pengadukan

Pada proses produksi biogas peengadukan 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 terjadinya pengendapan di dasar digester yang dapat menghambat pembentukan biogas.

Manfaat dan kelebihan biogas antara lain sebagai berikut:

1. Bermanfaat bagi masyarakat untuk keperluan rumah tangga seperti masak-memasak
2. Bermanfaat sebagai solusi penyediaan energi khususnya masyarakat pedesaan yang sebagian besar merupakan peternak dan petani di pedesaan dan mengurangi penggunaan kayu bakar.
3. Biogas yang dihasilkan sama sekali tidak menghasilkan asap sehingga tidak mengganggu pernapasan.
4. Biogas yang dihasilkan dari limbah organik seperti kotoran hewan dan tumbuhan merupakan energi yang dapat diperbaharui karena keberadaannya kontinu.
5. Pengurangan patogen, bau busuk, dan emisi metana dari tempat pembuangan akhir (tempat sampah ini biasanya dibuang) (Obileke et al., 2020).

Zat tambahan untuk memproduksi biogas agar cepat terbentuk dapat menggunakan ragi dalam proses fermentasi. Ragi berfungsi menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan cara menghasilkan enzim seperti amilase, lipase, dan protease serta meningkatkan aktivitas mikroba anaerobic yang menghasilkan gas metana. Sebagian besar ragi berasal dari mikroba jenis *Saccharomyces Cerevisiae*. Ragi merupakan suatu bahan yang produksi gas karbondioksida (CO₂).

B. Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah limbah yang dihasilkan sapi. Kotoran sapi dapat digambarkan sebagai residu yang tidak tercerna yang diperoleh dari bahan makanan yang dikeluarkan oleh sapi (Iwuozor et al., 2022). Kotoran sapi terdiri dari cairan sapi, urin sapi dan sisa pakan sapi yang mengandung nitrogen yang tinggi. Kandungan utama kotoran sapi mengandung berbagai zat kimia dan nutrisi yaitu air (70-80%): kandungan air yang tinggi karena sapi meminum banyak air, serat (15-20%): serat yang tidak tercerna oleh sapi, seperti selulosa dan hemiselulosa, nitrogen (1-2%): nitrogen yang berasal dari protein dan asam amino, fosfor (0,5-1%): fosfor yang berasal dari tulang dan jaringan tubuh sapi, kalium (0,5-1%): kalium yang berasal dari jaringan tubuh sapi, kandungan lainnya yaitu karbon, hydrogen, oksigen, sulfur, kalsium, magnesium, dan mikroelemen.

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).

Kotoran hasil peternakan juga memiliki kualitas yang berkelanjutan selama peternakan beroperasi (Sutrisno & Priyambada, 2019). Jika potensi kotoran sapi tidak dikelola dengan benar, itu akan menyebabkan masalah dengan kesehatan dan kebersihan lingkungan (Mashur dkk., 2020). Setiap hari, satu ekor sapi menghasilkan 8 – 10 kg kisaran kotoran per hari atau 2,6 – 3,6 ton per tahun. Dalam 10 kg kotoran sapi, memiliki potensi untuk menghasilkan biogas setara dengan 360 liter atau lebih, atau 1,5-2 ton limbah organik yang akan mengurangi penggunaan limbah sintesis dan mempercepat proses perbaikan kerusakan (Huda & Wikanta, 2016).

Pemanfaatan kotoran sapi merupakan praktik pengelolaan limbah padat yang dapat membantu memecahkan masalah lingkungan, serta menyediakan produk bernilai tambah yang dapat memberikan manfaat besar bagi masyarakat (Iwuozor et al., 2022). Secara umum, kotoran sapi hanya dibiarkan mengering dalam satu lahan dan setelah kering digunakan untuk tanaman atau penyuburan tanah.

Kondisi ini dapat mempengaruhi lingkungan sekitar, terutama pencemaran

udara. Oleh karena itu, jika analisis kotoran sapi ini dilakukan maka dapat dianggap sebagai bahan dasar dalam produksi biogas (Wardana dkk., 2021). Proses mengubah limbah kotoran sapi menjadi alternatif biogas yang berkelanjutan sangat menguntungkan karena dapat digunakan tanpa merusak lingkungan, memastikan siklus ekologi tetap utuh (Ningrum dkk., 2018).

Kotoran sapi menghasilkan gas metana (CH_4). Kandungan kotoran sapi termasuk bakteri dan mikroorganisme sebagai berikut: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Enterobacteriaceae* (*E. Coli*), dan *Ruminococcus* (Alfa et al., 2014).

Table 1. Komposisi Biogas Kotoran Sapi

Jenis gas	%
Metana (CH_4)	65,7
Karbondioksida (CO_2)	27,0
Nitrogen (N_2)	2,3
Karbon Monoksida (CO)	0,0
Oksigen (O_2)	0,1
Propena (C_3H_8)	0,7
Hidrogen Sulfida (H_2S)	Tidak Terukur
Nilai Kalori (kkal/m^3)	6531

(Usman dkk., 2020)

Kotoran sapi mengandung 22,59% selulosa, 18,32% hemiselulosa, 10,20% lignin, 34,72% karbon organik, 1,26% nitrogen, 0,37% fosfor, dan 0,68% kalium. Kandungan padat ideal untuk proses anaerobik adalah sekitar 8% (Usman dkk., 2020).

C. Biodigester

Biodigester adalah alat yang digunakan untuk mengurai sampah atau limbah organik melalui fermentasi dalam keadaan anaerob. Prinsip bangunan *biodigester* adalah menciptakan suatu ruang kedap udara (*anaerob*) yang menyatu dengan saluran atau pemasukan (*input*) serta saluran pengeluaran (*output*) (Prihatiningtyas dkk., 2019). 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 aktifitas fermentasi dapat dimanfaatkan sebagai pupuk alami untuk usaha pertanian atau perkebunan.

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

1. saluran masuk (*inlet*)

Saluran ini digunakan untuk memasukkan bahan baku biogas ke dalam reaktor utama. Tujuan pencampuran ini 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 fermentasi bahan organik. Ruang ini bersifat kedap udara.

3. saluran keluar residu (*outlet*).

Saluran ini berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah difermentasi oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatis. Residu yang keluar pertama kali sangat baik untuk dijadikan pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

4. katup pengaman tekanan (*control valve*)

Katup pengaman ini digunakan sebagai pengatur tekanan gas dalam biodigester. Katup pengaman ini menggunakan prinsip pipa T. Bila tekanan gas dalam saluran gas lebih tinggi dari kolom air, maka gas akan keluar melalui pipa T, sehingga tekanan dalam biodigester akan turun.

5. sistem pengaduk

Pengadukan dilakukan dengan berbagai cara, yaitu pengadukan mekanis, sirkulasi substrat biodigester, atau sirkulasi ulang produksi biogas ke atas biodigester menggunakan pompa. Pengadukan ini bertujuan untuk mengurangi pengendapan dan meningkatkan produktifitas biodigester karena kondisi substrat yang seragam.

6. saluran gas

Saluran gas ini disarankan terbuat dari bahan polimer untuk menghindari korosi. Untuk pembakaran gas padatungku, pada ujung saluran pipa bisa disambung dengan pipa baja antikarat.

7. tangki penyimpan biogas.

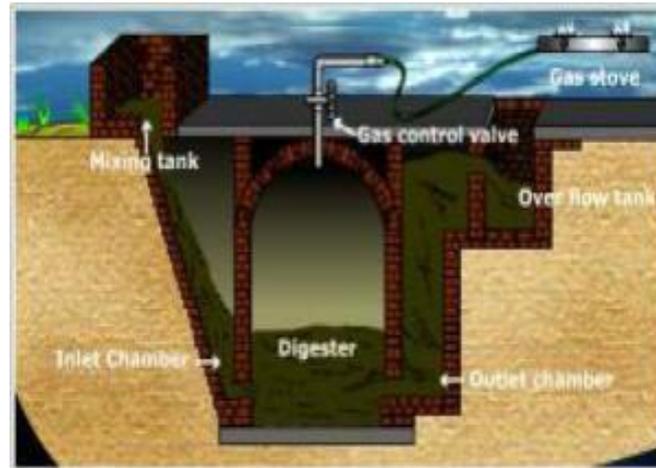
Tujuan dari tangki penyimpan gas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi. Terdapat dua jenis tangki penyimpanan biogas, yaitu terpisah dengan reactor (*fixed dome*) atau bersatu dengan unit reactor (*floating dome*) (Prihatiningtyas dkk., 2019).

Terdapat beberapa jenis *biodigester* 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 tinjauan dari bentuknya ada beberapa tipe *digester*, yaitu:

1. *fixed dome* (kubah tetap).

Digester jenis *fixed dome* ini memiliki volume yang tetap, gas yang akan terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas diluar reaktor, indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan.. 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 1. Tabel 2 adalah tabel kelebihan dan kekurangan digester jenis *fixed dome* (kubah tetap)



Gambar 1. Digester Jenis *Fixed Dome* (kubah tetap)
(Yusmiati & Singgih, 2018)

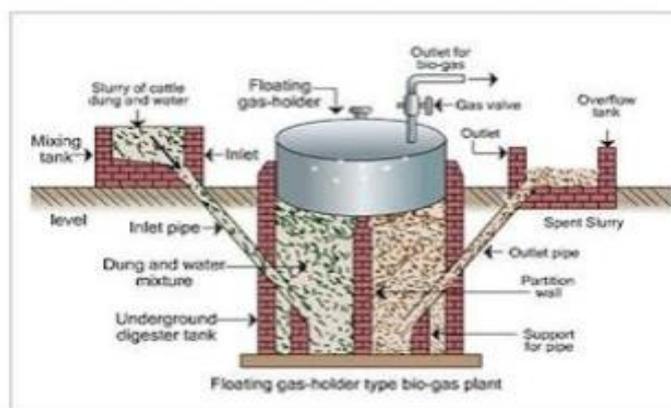
Table 2. Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Fixed Dome (Kubah Tetap)

Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah. 2. Biaya konstruksi rendah. 3. Dapat berasal dari material yang tahan karat. 4. Awet (umurnya panjang). 5. Dapat dibuat dalam tanah sehingga menghemat tempat. 6. Tidak ada bagian yang bergerak. 	<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.

(Prihatiningtyas dkk., 2019)

2. *floating dome* (kubah apung).

Pada *digester* jenis ini memiliki bagian *digester* yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak dari drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam *digester*. Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan. Reaktor ini terdiri dari satu *digester* dan penampung gas yang bisa bergerak. Penampung gas ini akan bergerak ke atas ketika gas bertambah dan turun lagi ketika gas berkurang, seiring dengan penggunaan dan produksi gasnya (Prihatiningtyas dkk., 2019). Skema *digester* jenis *floating dome* (kubah apung) dapat dilihat pada Gambar 2.

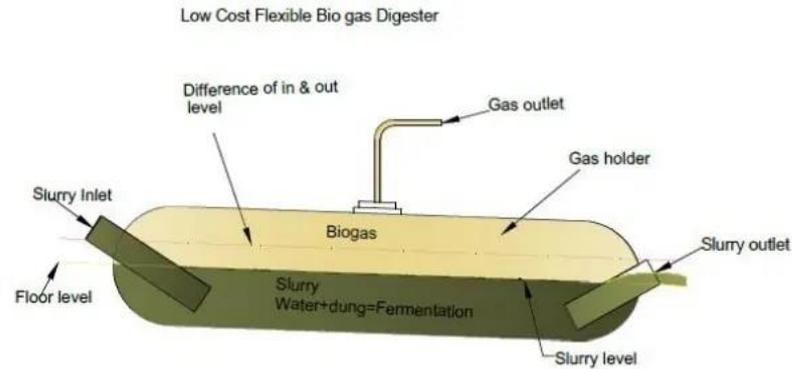


Gambar 2. Digester Jenis *Floating Dome* (kubah tetap)
(Yusmiati & Singgih, 2018)

Kelebihan *digester* jenis kubah apung yaitu, tekanan gas konstan karena penampung gas yang bergerak mengikuti jumlah gas, biaya konstruksi rendah, dan jumlah gas bisa dengan mudah diketahui dengan melihat naik turunnya drum. Kekurangan *digester* jenis kubah apung yaitu, Bagian dalam *digester* tidak terlihat sehingga kebocoran sulit diketahui, *digester* rawan korosi sehingga waktu pakai menjadi pendek dibandingkan dengan menggunakan tipe kubah tetap, membutuhkan teknik khusus untuk membuat tumpukan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas, dan biaya material konstruksi dari drum lebih mahal (Prihatiningtyas dkk., 2019).

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. Reaktor 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 3.



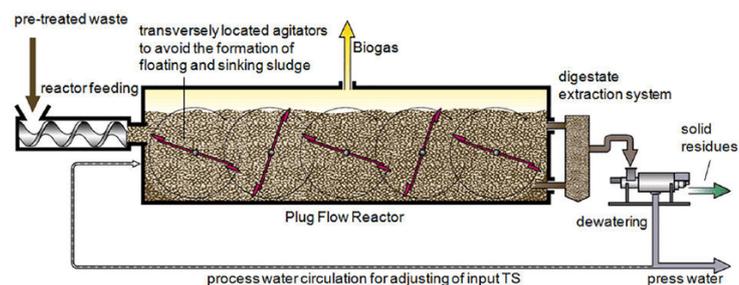
Gambar 3. Digester Jenis *Ballon Plant*
(Prihatiningtyas dkk., 2019)

Kelebihan *digester* jenis balon yaitu, biaya pembuatan murah, mudah dibersihkan, dan mudah dipindahkan. Kekurangan *digester* jenis balon yaitu, waktu pakai relative singkat, dan mudah mengalami kerusakan (Prihatiningtyas dkk., 2019).

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 4.



Gambar 4. Digester Jenis *Plug Flow*
(Prihatiningtyas dkk., 2019)

5. balok

Reaktor berbentuk balok yang biasa digunakan dalam skala laboratorium dan praktikum dapat digunakan dengan cara pengerjaan yang sederhana. Konstruksi reaktor tipe ini cukup sederhana dengan aliran umpan dan tempat fermentasi yang

terpisah sehingga dibutuhkan pompa untuk mengalirkannya. Reaktor ini bekerja dengan sistem batch dimana aliran umpan didiamkan didalam reaktor sampai menghasilkan gas. Kelebihan digester jenis balok yaitu, konstruksi alat yang sederhana, dan proses pembentukan gas lebih stabil dan banyak. Kekurangannya adalah sulit dalam hal pembuangan, dan laju sedimentasi yang lambat (Prihatiningtyas dkk., 2019).

6. *fiberglass*

Reaktor bahan fiberglass merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga dan skala industri. Reaktor ini menggunakan bahan fiberglass sehingga lebih efisien dalam penanganan (Prihatiningtyas dkk., 2019).

Ditinjau dari cara operasionalnya (pengisian bahan baku), *digester* dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

1. tipe *batch digestion*

Pada tipe *batch*, bahan baku dimasukkan sekali dalam *biodigester* hingga selesainya proses *fermentasi*. Apabila produksi biogas yang dihasilkan telah menurun, maka bahan yang telah diproses dikeluarkan kemudian diganti dengan yang baru (Fattah dkk., 2022). Kelebihan tipe ini adalah kualitas hasilnya bisa lebih stabil karena tidak ada gangguan selama reaksi berjalan.

2. tipe *continuous digestion*

Untuk *biodigester* jenis *continue*, proses pemasukan bahan baku dan pengeluaran slurry sisa proses dilakukan secara berkala kontinyu (tiap hari) selama 3-4 minggu sejak pengisian awal tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah dicerna.

Kekurangan dari tipe ini adalah membutuhkan pengoperasian dan pengawasan yang lebih ketat agar reaksi selalu berjalan dengan baik.

Sementara dari segi tata letak penempatan *biodigester*, dibedakan 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 adalah benda yang dipakai untuk mengerjakan sesuatu (Bahasa, 2008). Alat praktikum IPA merupakan benda yang digunakan dalam kegiatan di laboratorium yang dapat digunakan secara berulang-ulang. Alat praktikum IPA bisa disebut juga dengan alat peraga pembelajaran IPA yaitu sarana komunikasi dan interaksi antara guru dengan siswa dalam proses pembelajaran, dimana alat tersebut adalah sesuatu yang dapat digunakan untuk menyampaikan pesan sehingga dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian, serta minat siswa sehingga proses belajar mengajar terjadi (Widiyatmoko, 2012). Pentingnya pengetahuan terhadap alat saat praktikum merupakan salah satu faktor yang penting untuk mendukung kegiatan praktikum. Siswa akan terampil dalam praktikum apabila mereka mempunyai pengetahuan mengenai alat-alat praktikum yang meliputi nama alat, fungsi alat, dan cara penggunaan (Sanjaya, 2006). Pengetahuan alat yang kurang akan mempengaruhi kelancaran saat praktikum. Suatu alat hendaknya dapat mempercepat proses belajar siswa dan proses mengajar guru.

Pengembangan alat praktikum bertujuan agar kegiatan praktikum tetap dapat terlaksana. Hal 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 alat praktikum IPA menurut Tim Penyusun Dirjen Pembinaan Sekolah Menengah (2011) dapat dibuat dalam dua bentuk yaitu sebagai berikut:

1. padanan alat, yaitu alat yang dibuat dengan mengacu pada contoh alat yang sudah ada (alat praktik, alat peraga, alat pendukung) di laboratorium IPA.
2. prototip, yaitu alat baru yang sebelumnya tidak ada, atau dapat merupakan pengembangan dari alat yang sudah ada, pernah ada yang membuat namun kemudian dimodifikasi.

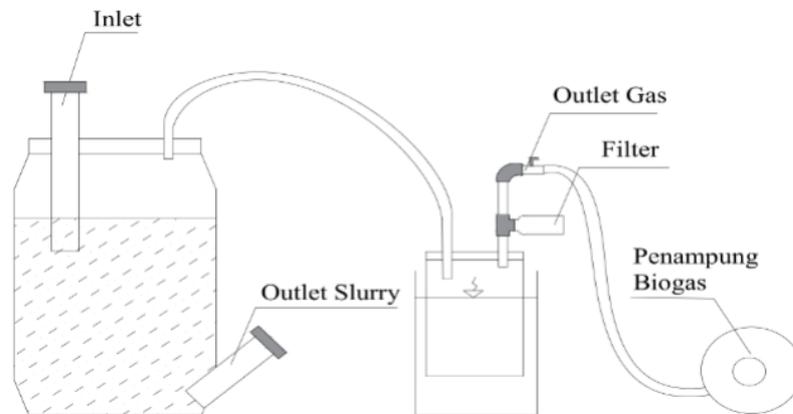
Menurut Tim Penyusun (2011) Dirjen Pembinaan Sekolah Menengah setidaknya ada 12 kriteria dalam pembuatan alat peraga praktikum IPA yang akan dilakukan, kriteria tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Bahan mudah diperoleh (diantaranya dengan memanfaatkan limbah, diminta, atau dibeli dengan harga murah).
2. Mudah dalam perancangan dan pembuatannya.
3. Mudah dalam perakitannya (tidak memerlukan keterampilan khusus).
4. Mudah dioperasikannya.
5. Dapat memperjelas/menunjukkan konsep dengan lebih baik.
6. Dapat meningkatkan motivasi peserta didik.
7. Akurasi cukup bisa diandalkan.
8. Tidak berbahaya ketika digunakan.
9. Menarik.
10. Daya tahan alat cukup baik (lama pakai).
11. Inovatif dan kreatif.
12. Bernilai pendidikan.

E. Penelitian Relevan

Erfiani dkk., (2023) melakukan pengembangan rancang bangun reaktor produksi biogas dari kotoran sapi dan sampah organik. Pembuatan reaktor biogas menggunakan barang yang mudah didapat seperti drum biru berukuran 120 L sebagai reaktor, wadah ukuran 20 L, ember plastik, botol plastik dan perlengkapan lainnya. Dalam reactor ini terdapat bagian wadah *digester*, kemudian terdapat

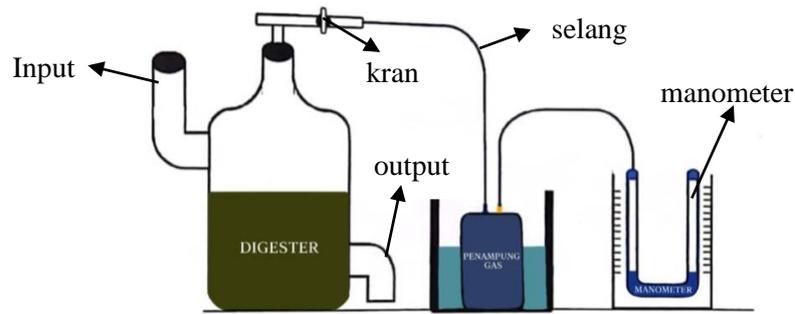
tempat masuknya (*inlet slurry*), tempat keluar (*outlet slurry*), tempat keluarnya gas, kemudian terdapat filter sebagai penyaring dan penampung gas. Reaktor biogas yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaktor biogas hasil pengembangan Erfiani dkk., (2023)

Alat yang dikembangkan sudah menggunakan bahan yang mudah untuk didapatkan akan tetapi dalam hasil reaktor yang dibuat harus memperhatikan wadah yang digunakan dikhawatirkan adanya kebocoran halus, kemudian pada reaktor biogas yang dikembangkan belum terdapat manometer yang digunakan untuk mengetahui tekanan gas yang dihasilkan sehingga pada hasil pengujian masih terbentuk gas CO_2 bukan gas methana sehingga tidak terbentuknya nyala api.

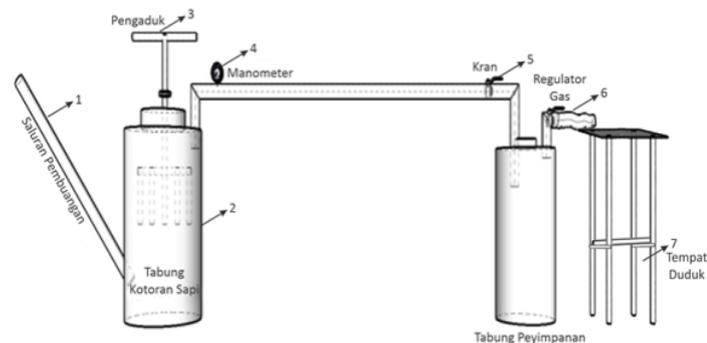
Sari dkk., (2023) melakukan pengembangan reaktor biogas dari kotoran sapi yang memiliki beberapa keuntungan diantaranya yaitu memiliki harga yang terjangkau dan juga mudah untuk dirangkai. Sari dkk menggunakan galon bekas air mineral sebagai tempat fermentasi kotoran sapi kemudian terdapat kaleng yang terbuat dari seng sebagai tempat menampung gas dan terdapat juga manometer yang dibuat menggunakan selang dibentuk menyerupai pipa U untuk menganalisis tekanan biogas dari hasil fermentasi kotoran sapi dan EM4. Komponen alat ini yaitu galon bekas, kaleng bekas dan manometer yang terbuat dari selang, pipa PVC berukuran 0,5 *inch* dan 2 *inch*. Hasil pengembangan reaktor biogas yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Reaktor biogas hasil pengembangan Sari dkk., (2023)

Hasil alat reaktor biogas dari kotoran sapi yang dikembangkan sudah layak digunakan. Akan tetapi, reaktor biogas menggunakan bahan kaleng sebagai penampung gas yang dimana kaleng bisa pecah atau meledak jika terkena tekanan gas yang terlalu tinggi, dapat menyebabkan resiko kebakaran. Kemudian untuk menggunakan manometer dari selang berbentuk U untuk mengukur tekanan perlu menggunakan air yang nantinya digunakan untuk mengamati perubahan tekanan gas terhadap perubahan ketinggian air dalam manometer, yang dimana perubahan tekanan akan diukur dengan penggaris sehingga membutuhkan waktu sehari-hari untuk terus diamati.

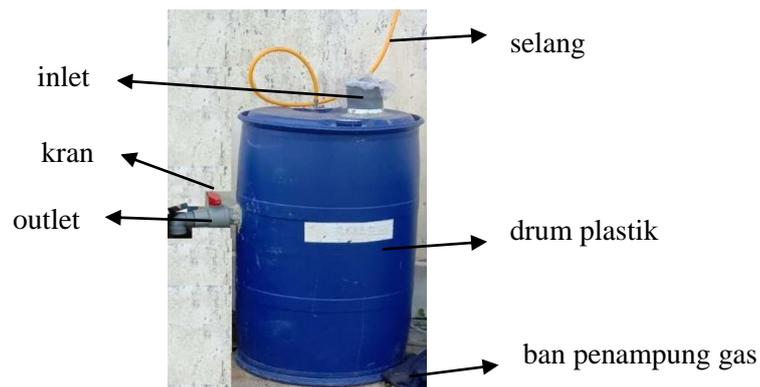
Selanjutnya Arifin dkk., (2023) merancang reaktor biogas skala rumah tangga dengan memanfaatkan limbah kotoran sapi menggunakan bahan yang harganya relatif murah dan dapat digunakan di lingkungan masyarakat, bahan utama reaktor menggunakan tong plastik berukuran 250 liter. Reaktor yang didesain dilengkapi dengan saluran keluar biogas, pengaduk, *thermometer*, saluran pengisian kotoran sapi, saluran pembuangan kotoran sapi dan manometer selang U, kemudian terdapat juga tabung penyimpanan biogas, regulator gas, dan tempat duduk kompor gas. Reaktor biogas yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Reaktor Biogas hasil pengembangan Arifin dkk., (2023)

Alat hasil pengembangan pada penelitian ini merupakan alat yang akan digunakan untuk lingkungan masyarakat, tentunya dengan perhitungan skala rumah tangga sehingga bahan yang digunakan cukup besar. Alat yang dikembangkan ini membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memproduksi biogas agar dapat digunakan dan pengujiannya juga menggunakan kompor.

Arendra dkk., (2024) melakukan pengembangan rancang reaktor biogas dengan menggunakan kotoran sapi dan limbah rumah tangga yang dapat digunakan untuk skala rumah tangga. Penelitian ini menggunakan bahan yang relatif murah dan mudah untuk didapatkan seperti drum plastic bekas berkapasitas 200 liter sebagai reaktor (ruang pencernaan *anaerob*). Rancangan *biodigester* ini dilengkapi dengan *inlet* tangki, *outlet* tangki menggunakan pipa PVC, pipa gas, serta terdapat ban sebagai penampung gas. Rancangan digester yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Reaktor biogas hasil pengembangan Arendra dkk., (2024)

Alat yang dikembangkan sudah dapat digunakan untuk skala rumah tangga yang dimana menggunakan bahan yang mudah untuk digunakan, akan tetapi dalam rancangan reaktor biogas ini belum memakai alat manometer untuk mengukur tekanan gas yang dihasilkan. Kemudian dalam pembuatan reaktor biogas harus memperhatikan temperature ruang reaktor biogasnya serta dengan tingkat kelembapan kemudian penampung gas yang digunakan harus disesuaikan dengan reaktor yang dihasilkan agar gas yang ditampung dapat disesuaikan dan tidak mengalami kebocoran gas.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development /R&D*). Terdapat sepuluh tahap dalam penelitian dan pengembangan yaitu : 1) penelitian dan pengumpulan data; 2) perencanaan; 3) pengembangan produk awal; 4) uji coba lapangan awal; 5) revisi hasil uji coba; 6) uji coba lapangan; 7) penyempurnaan produk hasil uji; 8) uji pelaksanaan lapangan; 9) penyempurnaan produk akhir; dan 10) deseminasi dan implementasi (Borg, W.R. & Gall, 1989).

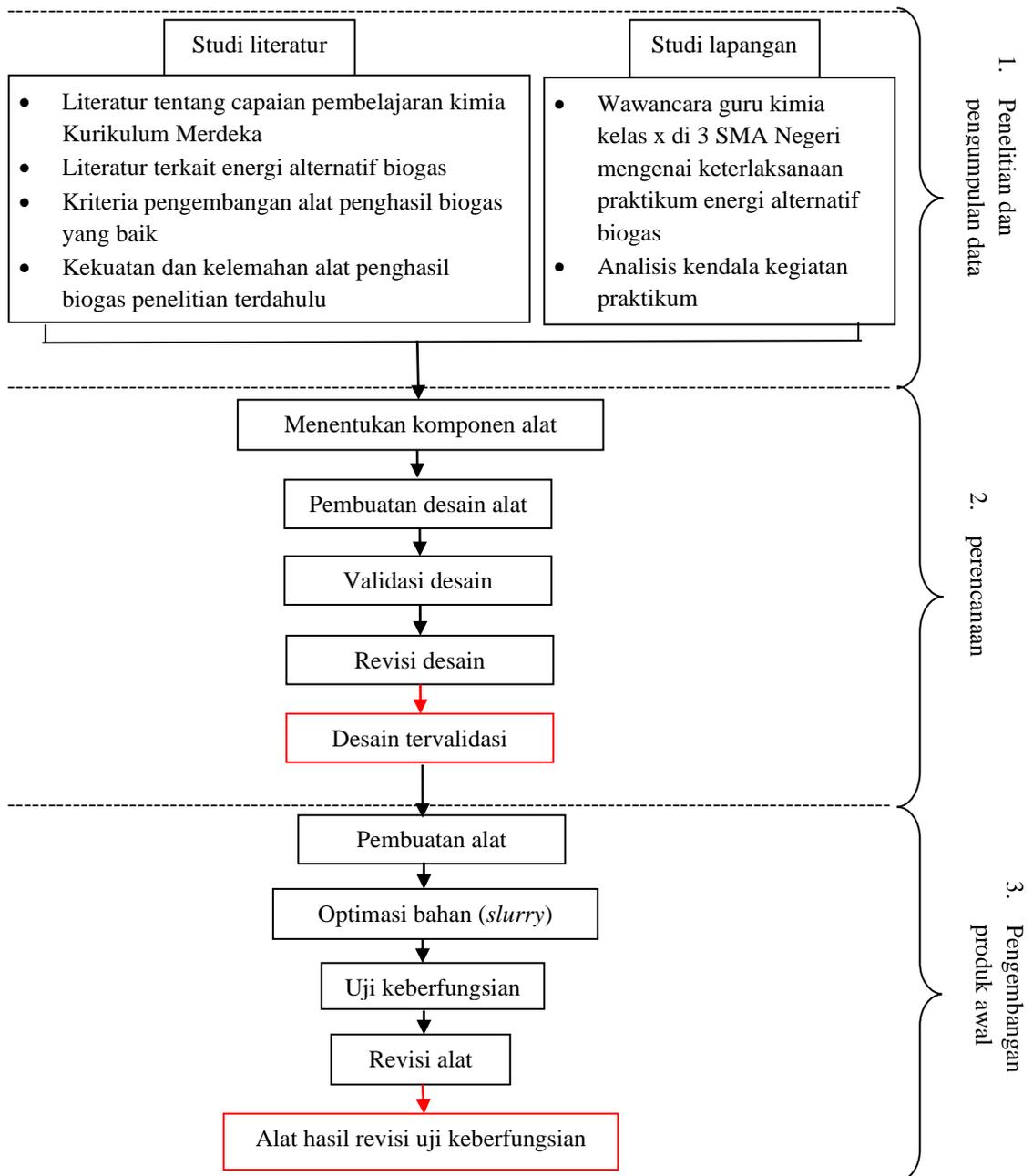
Pada penelitian ini tahap-tahap penelitian dan pengembangan hanya dilaksanakan sampai tahap ketiga yaitu tahap pengembangan produk awal. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan waktu dan keterbatasan peneliti untuk melakukan tahap-tahap selanjutnya.

B. Subjek dan Lokasi Penelitian

Subjek pada penelitian ini adalah alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan. 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 Panaragan Jaya kabupaten Tulang Bawang Barat, kemudian penilaian uji keberfungsian dilakukan di FKIP Universitas Lampung.

C. Alur Pengembangan

Alur pengembangan alat penghasil biogas dilengkapi dengan pengukur tekanan yang dilakukan disesuaikan dengan tahap pengembangan oleh Gall, dkk. yang disajikan pada Gambar 9.



Keterangan :

- : Aktivitas
- : Hasil aktivitas
- : Arah aktivitas selanjutnya
- : Arah hasil aktivitas
- : Batas pembagian tiap tahap

Gambar 9. Alur Pengembangan Alat

Berikut ini penjelasan tiap tahap pengembangan yang dilakukan.

1. Penelitian dan pengumpulan data

Penelitian dan pengumpulan data bertujuan untuk memperoleh informasi awal untuk dijadikan sebagai acuan dalam pengembangan yang akan dilakukan.

Tahapan ini terdiri dari dua langkah yaitu studi literatur dan studi lapangan.

a. studi literatur

Menurut Sukmadinata (2011), studi literatur bertujuan untuk menemukan konsep-konsep atau landasan-landasan teoritis yang memperkuat suatu produk yang akan dikembangkan. Pada studi literatur ini dilakukan pencarian informasi terkait capaian pembelajaran kimia kurikulum merdeka pada fase E yang di terbitkan oleh kemendikbudristek. Selain itu, dilakukan juga pengumpulan informasi terkait dengan energi alternatif terutama biogas. Mencari informasi mengenai pengembangan alat penghasil biogas yang baik beserta kekuatan dan kelemahan penelitian terdahulu yang akan menjadi acuan untuk membuat alat penghasil biogas yang baik dan layak sesuai dengan kriteria yang ada .

b. studi lapangan

Studi lapangan bertujuan untuk mengkaji kegiatan pembelajaran di sekolah agar mendapatkan informasi awal yang lengkap serta, untuk menganalisis ketersediaan alat praktikum dan kendala kegiatan praktikum. 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 kelas X pada masing-masing sekolah mengenai kegiatan praktikum terkait energi alternatif terutama biogas.

2. Perencanaan

Tahap perencanaan ini dilakukan beberapa hal yaitu menentukan komponen alat, membuat desain alat, validasi desain alat, revisi desain sampai desain tervalidasi.

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan yaitu merancang alat penghasil biogas dengan ukuran skala laboratorium sekolah agar mudah digunakan oleh peserta didik dalam proses pembelajaran. Alat penghasil biogas yang akan dibuat ini merupakan pengembangan dari penelitian Sari dkk (2023).

a. menentukan komponen alat

Berdasarkan prinsip bangunan biodigester, komponen utama terdiri dari saluran masuk (*input*), ruang fermentasi, saluran keluar residu (*outlet*), katup pengaman tekanan, saluran gas, dan tangki penyimpan biogas. Reaktor sebagai komponen utama dalam proses fermentasi harus menggunakan bahan yang bersifat *anaerob* (tertutup) dan harus dipastikan tidak terdapat celah untuk kebocoran. Ruang saluran *input* dan ruang saluran *output* menggunakan komponen yang memudahkan dalam proses masuk ataupun keluarnya *slurry*. Komponen penampung biogas yang dihasilkan menggunakan bahan yang dapat diisi dengan gas atau dicirikan dapat menggelembung sehingga mudah dalam mengidentifikasi gas yang masuk ke penampung serta tidak hanya untuk sekali pakai atau bisa digunakan berulang-ulang.

Tipe biodigester yang akan dibuat merupakan tipe digester *fixed dome* yang memiliki volume tetap dan pengembangan komponen alat yang akan dibuat berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sari dkk, (2023), yang dimana komponen alat terdiri dari galon bekas sebagai reaktor, kaleng bekas sebagai penampung gas, manometer selang air, pipa *input* dan pipa *output*, selang dan katup aliran gas. Pemilihan bahan untuk komponen alat dilakukan dengan mempertimbangkan keamanan bagi peserta didik, memiliki daya tahan yang baik, biaya relatif murah, kemudahan dalam memperolehnya, serta ukuran alat yang akan dikembangkan tidak terlalu besar sehingga dapat digunakan sebagai alat praktikum di sekolah. Bahan yang dipilih disesuaikan agar dapat memperbaiki kelemahan alat penghasil biogas yang sudah ada sebelumnya.

b. pembuatan desain alat

Pembuatan desain alat dapat memberikan gambaran serta kemudahan dalam proses pembuatan alat. Pada tahap ini dilakukan pembuatan gambar desain alat penghasil biogas dilengkapi dengan pengukur tekanan yang disesuaikan dengan komponen-komponen serta fungsi bahan yang akan digunakan, pembuatan gambar desain alat menggunakan aplikasi canva.

c. validasi desain

Validasi desain merupakan proses kegiatan untuk menilai rancangan alat dapat diterima secara rasional. Hal ini karena validasi masih bersifat penilaian berdasarkan pemikiran rasional, belum fakta lapangan (Sugiyono, 2012). Desain alat penghasil biogas divalidasi oleh tiga orang validator ahli yaitu 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 penghasil biogas hasil validasi dan dapat melanjutkan ke tahap pembuatan alat.

3. Pengembangan produk awal

Pengembangan alat dilakukan beberapa tahap yang dijabarkan sebagai berikut.

a. pembuatan alat

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan. Pembuatan alat disesuaikan dengan desain hasil revisi validasi desain. Penyesuaian pembuatan alat penghasil biogas ini sesuai dengan komponen alat.

b. optimasi bahan (slurry)

Tahap selanjutnya setelah pembuatan alat adalah optimasi bahan percobaan untuk memperoleh komposisi *slurry* yang tepat. Optimasi bahan bertujuan untuk menghasilkan biogas sehingga dapat mengetahui keberfungsian alat yang dikembangkan. Optimasi bahan yang dilakukan ini pengembangan dari penelitian Sulistyio & Yanti (2024).

Optimasi pertama yaitu optimasi perbandingan kotoran sapi dengan air, optimasi ini menggunakan perbandingan kotoran sapi dengan air yaitu 1:1; 2:1; dan 1:2. Perbandingan kotoran sapi dan air didasarkan pada massa. Reaktor yang digunakan berukuran 5 liter, kemudian kapasitas volume slurry untuk mengisi reaktor dibuat tetap yaitu 80%. Sehingga variasi pertama (1:1) menggunakan 2 kg

kotoran sapi segar dan 2 kg air; variasi kedua (2:1) menggunakan 2,5 kg kotoran sapi segar dan 1,5 kg air; serta variasi ketiga (1:2) menggunakan 1,5 kg kotoran sapi segar dan 2,5 kg air. Selanjutnya dilakukan optimasi jenis zat tambahan untuk mempercepat terbentuknya gas. Variasi yang digunakan yaitu EM4 dan ragi. EM4 yang ditambahkan sebanyak 5% dan 10%, kemudian ragi yang ditambahkan sebanyak 5 gram dan 10 gram. Zat tambahan yang dipilih nantinya adalah zat tambahan yang paling cepat dan paling banyak menghasilkan biogas dalam waktu 10 hari.

c. uji keberfungsian

Alat penghasil biogas yang telah dibuat selanjutnya akan dilakukan uji keberfungsian. Uji ini bertujuan untuk menguji keberfungsian dari setiap komponen alat yang dikembangkan. Pada tahap ini peneliti akan melakukan uji keberfungsian alat dengan didokumentasikan via video, pengujian alat dilakukan di Panaragan Jaya kabupaten Tulang Bawang Barat, selanjutnya video tersebut akan ditunjukkan kepada tiga orang validator ahli yaitu dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari pendidikan fisika di FKIP Universitas serta memberikan kuesioner untuk penilaian.

d. revisi produk

Setelah uji keberfungsian, apabila terdapat saran atau masukan dari validator ahli melalui pengisian kuesioner maka peneliti melakukan revisi berdasarkan tanggapan validator ahli terhadap alat yang dikembangkan. Hasil akhir pada penelitian ini yaitu alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan hasil revisi uji keberfungsian.

D. Sumber Data dan Data Penelitian

Sumber data merupakan asal diperolehnya data. Sumber data dalam penelitian ini yaitu validator ahli FKIP Universitas Lampung serta guru kimia SMA kelas X. Pada tahap penelitian dan pengumpulan data dilakukan studi lapangan dan diperoleh data dari hasil wawancara masing-masing satu 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 hasil penilaian validasi desain berupa skor jawaban pengisian kuesioner oleh tiga orang validator ahli yaitu dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari pendidikan fisika FKIP Universitas Lampung terhadap desain alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan yang dikembangkan. Tahap pengembangan produk awal, pada uji keberfungsian diperoleh data hasil penilaian berupa skor jawaban pengisian kuesioner dari tiga orang validator ahli yaitu dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari pendidikan fisika FKIP Universitas Lampung.

E. Instrumen Penelitian

Menurut Arikunto (2010), 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 enam buah pertanyaan untuk memperoleh informasi mengenai keterlaksanaan kurikulum merdeka di lingkungan sekolah, kegiatan proses pembelajarannya, pembelajaran yang dilakukan terkait energi alternatif, ketersediaan alat praktikum pembuatan biogas di sekolah dan kendala atau kesulitan yang dihadapi oleh guru dalam pembelajaran tersebut. 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 perencanaan yaitu berupa kuesioner untuk melakukan validasi desain alat. Pengisian kuesioner validasi desain alat sesuai dengan petunjuk yang ada pada kuesioner dan dilakukan oleh tiga orang validator ahli yang merupakan dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari

pendidikan fisika FKIP Universitas Lampung. Kuesioner berisi pernyataan tentang penilaian desain alat yang harus dipenuhi dalam pengembangan alat yang dilakukan, yaitu mencakup komponen mudah diperoleh, biaya relatif murah, mudah dirangkai, mudah dioperasikan, komponen yang aman, menarik, daya tahan baik, dan inovatif serta kreatif.

3. Instrumen pada tahap pengembangan produk awal

Instrumen yang digunakan pada tahap ini yaitu berupa kuesioner uji keberfungsian. Pengisian kuesioner uji keberfungsian sesuai dengan petunjuk yang ada pada kuesioner dan dilakukan oleh tiga orang validator ahli yang merupakan dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari pendidikan fisika FKIP Universitas Lampung. Kuesioner berisi pernyataan untuk mengetahui 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), kuisisioner 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 atau tertutup dan diberikan kepada responden secara langsung. Responden diminta mengisi kuesioner sesuai dengan petunjuk kuesioner.

G. Analisis Data

Berikut penjabaran kegiatan dalam teknik analisis data dari hasil jawaban kuesioner validasi desain alat, dan uji keberfungsian.

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

Table 3. 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)

2. Mengolah jumlah skor jawaban responden. Pengolahan jumlah skor (Σ) jawaban kuesioner ditunjukkan pada Tabel 4.

Table 4. Jumlah skor jawaban responden

Pilihan jawaban	skor	Jumlah responden (YS)
Sangat Setuju (SS)	S_1	Y_{S_1}
Setuju (S)	S_2	Y_{S_2}
Kurang Setuju (KS)	S_3	Y_{S_3}
Tidak Setuju (TS)	S_4	Y_{S_4}
Sangat Tidak Setuju (STS)	S_5	Y_{S_5}

3. Menghitung jumlah skor jawaban kusioner dengan menggunakan rumus berikut.

$$\sum S = S_1 \cdot Y_{S_1} + S_2 \cdot Y_{S_2} + S_3 \cdot Y_{S_3} + S_4 \cdot Y_{S_4} + S_5 \cdot Y_{S_5}$$

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)

4. 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 jawaban kuesioner-i $\sum s$ = jumlah skor jawaban S_{maks} = Skor maksimum (Sudjana, 2005)

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

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

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)

6. Menafsirkan persentase jawaban kuesioner secara keseluruhan yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Table 5. 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)

7. Menafsirkan kriteria validasi analisis persentase produk dengan hasil validasi ahli yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Table 6. 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

(Arikunto, 2010)

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Penelitian ini menghasilkan produk berupa alat penghasil biogas dari kotoran sapi dilengkapi dengan pengukur tekanan. Adapun rincian simpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian yaitu :

1. Alat penghasil biogas dilengkapi dengan pengukur tekanan yang telah dikembangkan memiliki karakteristik yaitu komponen menggunakan jerigen plastik 5 liter sebagai reaktor, manometer tipe selang U sebagai pengukur tekanan, plastik *urine bag* 2 liter sebagai penampung biogas, dan jarum pompa sebagai tempat saluran uji nyala api.
2. Hasil pengisian kuesioner uji keberfungsian oleh validator ahli terhadap keberfungsian komponen-komponen alat penghasil biogas dilengkapi dengan pengukur tekanan yang dikembangkan diperoleh persentase keseluruhan sebesar 97% dengan kriteria sangat tinggi dan valid sehingga layak untuk digunakan.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian terkait optimasi pH untuk percobaan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait perbandingan komposisi *slurry* yang digunakan untuk percobaan.

3. Perlu dilakukan tahap penelitian selanjutnya untuk menyempurnakan pengembangan alat yang sudah dilakukan, karena pada penelitian ini hanya dilakukan sampai pengembangan produk awal
4. Perlu dilakukan uji kompetensi pada siswa untuk mengetahui efektivitas dan mengetahui hasil belajar peserta didik terhadap alat yang dikembangkan.

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.
- Arikunto, S. 2010. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Taktik Edisi Revisi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- 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.
- Arendra, A., & Purwoko, S. 2024. Perancangan Eksperimen Reaktor Biogas Portabel dengan Bahan Kotoran Sapi dan Limbah Rumah Tangga. *Matrik: Jurnal Manajemen Dan Teknik*, XXIV(2), 127–134.
- Arifin, J., Herlina, F., Amin, A., & Iman, H. C. 2023. Analisis Dan Perancangan Alat Biogas Sebagai Energi Alternatif Skala Rumah Tangga Dalam Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 7(2), 70–77.
- Bahasa, P. 2008. *Kamus besar bahasa indonesia daring*. Jakarta: Pusat Bahasa Depdiknas RI.
- Basit, A., & Komalasari, K. 2023. Dampak isu-isu global dalam perkembangan pendidikan kewarganegaraan di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Mimbar Demokrasi*, Vol. 22 No(2), 174–180.
- Borg, W.R. & Gall, M. D. 1989. *Educational Research: An Introduction. 5th Ed.* New York:Longman, Inc.
- Damanik, G. N. F. 2023. Peran Sumber Daya Alam Terhadap Pembangunan Ekonomi Berkelanjutan Dalam Perspektif Ekonomi Islam. *JMBS: Jurnal Manajemen Bisnis Syariah*, 3(1), 168–178.
- Ebhota, W. S., & Jen, T. C. 2020. Fossil Fuels Environmental Challenges and the Role of Solar Photovoltaic Technology Advances in Fast Tracking Hybrid Renewable Energy System. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 7(1), 97–117.
- Erfiani, M., Priyanti, I., Manurung, M., & Yuliana, D. 2023. Rancang Bangun

Reaktor Biogas Portable Menggunakan Limbah Sampah Organik Dan Starter Kotoran Sapi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 365–371.

Fadiawati, N. 2013. Pengembangan Perangkat Pembelajaran Kesetimbangan Kimia berbasis Representasi Kimia untuk Siswa Kelas XI IPA. *In Prosiding Seminar Penelitian, Pendidikan, Dan Penerapan MIPA*, 197–203.

Haryati, T. 2006. Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Wartazoa*, 16(3), 160–169.

Hendraloka, R., Wicaksono, A., Sakti, A., Wicaksono, B., Gentina, G., Pratama, H., Mandiri, M., Permatasari, N., Balai, R. A., Standardisasi, B., Jasa, P., Logam, I., & Mesin, D. 2022. Resistensi Indonesia Dalam Menghadapi Krisis Energi Dunia, Studi Kasus: Program Mandatori Biodiesel Minyak Kelapa Sawit Indonesia'S Resistance in Facing the Global Energy Crisis, Case Study: the Mandatory Program of Palm Oil Biodiesel. *Prosiding Seminar Nasional BSKJI "Post Pandemic Economy Recovery*, 7(2), 58–68.

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.

Iwuozor, K. O., Chizitere, E., Aniagor, C. O., Iwuchukwu, F. U., Mayowa, E., Boluwape, T., Omuku, P. E., & George, A. 2022. Current Research in Green and Sustainable Chemistry Removal of pollutants from aqueous media using cow dung-based adsorbents. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5(December 2021), 100300.

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), 8.

Kemendikbudristek BSKAP. 2022. Salinan Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 Tentang Capaian Pembelajaran Pada Pendidikan Anak Usia Dini Jenjang Pendidikan Dasar dan Jenjang Pendid. *In Kemendikbudristek (Issue 021)*.

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.

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*, 7(02), 79–83.

- Mara, I. M. 2012. Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi I Made Mara * * Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl Majapahit 62 Mataram , NTB . Email ; made.mara@ymail.com. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 38–46.
- 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. 2018. Analisis Strategi Pengembangan Biogas Sebagai Energi Alternatif Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Limbah Ternak Kotoran Sapi. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 17(3), 45–57.
- Nur, 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.
- Obileke, K., Mamphweli, S., Meyer, E. L., Makaka, G., & Nwokolo, N. 2020. Design and Fabrication of a Plastic Biogas Digester for the Production of Biogas from Cow Dung. *Journal of Engineering*, 2020(1), 1848714.
- Prihatiningtyas, S., Sholihah, F. N., & Nugroho, M. W. 2019. *Biodigester Untuk Biogas*. Fakultas Pertanian Universitas KH. Wahab Hasbullah.
- Salim, I., & Kafiari, F. 2017. Pembuatan Alat Penghasil Biogas Sederhana Di Kampung Hawaii Kabupaten Jayapura. *Jurnal Pengabdian Papua*, 1(2), 41–46.
- Sanjaya, W. 2006. *Strategi Pembelajaran*. Nusa Indah. Jakarta.
- 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., & Melisa. 2023. Analisis Tekanan Biogas Dari Kotoran Sapi Pada Miniatur Reaktor Biogas Dari Galon Bekas. *Jurnal Sains Benuanta*, 2(1), 51–57.
- 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, S. W. 2006. *Membuat Biogas; Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas dari Kotoran Ternak*. AgroMedia.
- Stančin, H., Mikulčić, H., Wang, X., & Duić, N. 2020. A review on alternative fuels in future energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128(109), 9–27.
- Suanggana, D., Haryono, H. D., Djafar, A., & Irawan, J. 2022. Potensi Produksi Biogas Dari Anaerobic Digestion. *Teknologi Terapan*, 06(1), 1–90.
- Subarjo, T. W. 2019. Rancang Bangun Prototipe Digester Biogas Untuk Menunjang Praktikum Mahasiswa. *Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian*, 11(3), 143–203.
- Sudjana. 2005. *Metoda Statistika*. Tarsito. Bandung.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- Sukmadinata, N., S. 2011. *Metode Penelitian Pendidikan*. PT Remaja Rosdakarya. Bandung.
- Sulaiman, D., Romadhoni, W., & Purnama, P. 2021. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro Pada Anak Sungai di Bulungan. *Jurnal Kumparan Fisika*, 4(1), 61–66.
- Sulistyo, S., & Yanti, Y. 2024. *Perbandingan Penambahan Air pada Proses Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi pada Praktikum Pengolahan Limbah Peternakan*. 6(1).
- Sunaryo. 2014. Rancang bangun reaktor biogas untuk pemanfaatan limbah kotoran ternak sapi di desa limbangan kabupaten banjarnegara. *Jurnal PPKM UNSIQ I (2014)*, 21–30.
- 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*. Graha Ilmu.
- Syaifullah, Affandi, I., & Somantri, M. N. 2020. Civic Education, Global Issues, and Global Citizen. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 418(1), 541–545.
- Usman, Hasan, Hanafi, M. A. K., & Elihami. 2020. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuatan Biogas. *Maspul Journal of Community Empowerment*, 1(1), 2716–4225.

- 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.
- Widiyatmoko, A. dan S. D. P. 2012. Pembelajaran Berbasis Proyek untuk Mengembangkan Alat Peraga IPA dengan Memanfaatkan Bahan Bekas Pakai. *Jurnal Unnes. Ac.Id*, 1(1), 51–56.
- Yusmiati, Y., & Singgih, B. 2018. Teknologi Produksi Biogas dari Limbah Ternak untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Rumah Tangga. *Inovasi Pembangunan : Jurnal Kelitbangan*, 6(01), 39–48.