

**EFEKTIVITAS PjBL-STEM PEMBUATAN BIOGAS DARI KOTORAN
SAPI DALAM MENINGKATKAN KETERAMPILAN
PEMECAHAN MASALAH SISWA SMA**

(Skripsi)

**Oleh
Kartika Tiara Putri
NPM 2113023001**



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

ABSTRAK

EFEKTIVITAS PjBL-STEM PEMBUATAN BIOGAS DARI KOTORAN SAPI DALAM MENINGKATKAN KETERAMPILAN PEMECAHAN MASALAH SISWA SMA

Oleh

Kartika Tiara Putri

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan efektivitas PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa SMA. Metode penelitian yang digunakan adalah *Weak Experimental* dengan *One Group Pretest-Posttest Design*. Instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah lembar pretes-postes keterampilan pemecahan masalah, LKPD, lembar kinerja produk, angket respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM, dan lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa di kelas XI SMA Negeri 13 Bandar Lampung Tahun Ajaran 2024/2025 yang berjumlah 142 siswa. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, diperoleh kelas XI.F4 sebagai kelas eksperimen. Teknik analisis data yang digunakan yaitu analisis data kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skor rata-rata postes lebih besar daripada skor rata-rata pretes siswa dan *n-gain* rata-rata keterampilan pemecahan masalah siswa sebesar 0,52 yang berkriteria sedang. Persentase rata-rata respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM sebesar 86,42% yang berkriteria sangat baik. Persentase rata-rata keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM sebesar 75,25% yang berkriteria tinggi. Produk yang dihasilkan pada PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi adalah biogas dengan skor rata-rata seluruh kelompok sebesar 6,91 dari skor maksimal 8. Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa model pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa SMA.

Kata Kunci : Keterampilan pemecahan masalah, PjBL-STEM, biogas, kotoran sapi

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF PjBL-STEM BIOGAS PRODUCTION FROM COW MANURE IN IMPROVING PROBLEM SOLVING SKILLS OF HIGH SCHOOL STUDENTS

By

Kartika Tiara Putri

This study aims to describe the effectiveness of PjBL-STEM biogas production from cow dung in improving problem-solving skills of high school students. The research method used is Weak Experimental with One Group Pretest-Posttest Design. The instruments used in this study were pretest-posttest problem-solving skills sheets, LKPD, product performance sheets, student response questionnaires on PjBL-STEM learning, and observation sheets for the implementation of PjBL-STEM learning. The population in this study were all students in class XI of SMA Negeri 13 Bandar Lampung in the 2024/2025 Academic Year, totaling 142 students. Sampling was carried out using purposive sampling technique, obtaining class XI.F4 as the experimental class. The data analysis technique used was quantitative data analysis. The results showed that the average posttest score was greater than the average pretest score of students and the average n-gain of students' problem-solving skills was 0,52 which was in the moderate criteria. The average percentage of student responses to PjBL-STEM learning was 86,42% which was very good. The average percentage of PjBL-STEM learning implementation was 75,25% which was high. The product produced in PjBL-STEM making biogas from cow dung was biogas with an average score of all groups of 6,91 out of a maximum score of 8. Based on the results of the study, it was concluded that the PjBL-STEM learning model of making biogas from cow dung was effective in improving the problem-solving skills of high school students.

Keywords: Problem solving skills, PjBL-STEM, biogas, cow dung

**EFEKTIVITAS PjBL-STEM PEMBUATAN BIOGAS DARI KOTORAN
SAPI DALAM MENINGKATKAN KETERAMPILAN
PEMECAHAN MASALAH SISWA SMA**

Oleh

KARTIKA TIARA PUTRI

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**

Judul Skripsi : **EFEKTIVITAS PjBL-STEM PEMBUATAN BIOGAS DARI KOTORAN SAPI DALAM MENINGKATKAN KETERAMPILAN PEMECAHAN MASALAH SISWA SMA**

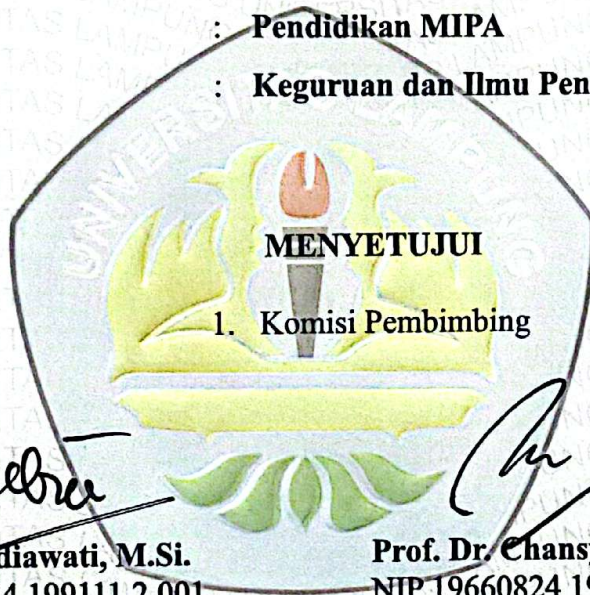
Nama Mahasiswa : **Kartika Tiara Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2113023001**

Program Studi : **Pendidikan Kimia**

Jurusan : **Pendidikan MIPA**

Fakultas : **Keguruan dan Ilmu Pendidikan**



1. Komisi Pembimbing


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


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

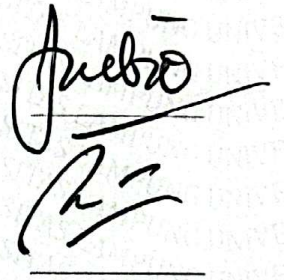
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA


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

MENGESAHKAN

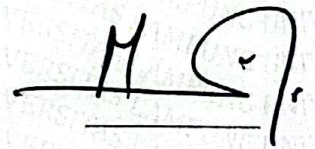
1. Tim Penguji

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



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

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



2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd.
NIP. 19870504 201404 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Juni 2025

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Kartika Tiara Putri
Nomor Pokok Mahasiswa : 2113023001
Program Studi : Pendidikan Kimia
Jurusan : Pendidikan MIPA

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

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

Bandar Lampung, 19 Juni 2025
Yang menyatakan,



Kartika Tiara Putri
NPM 2113023001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Pematang, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan pada tanggal 16 Juli 2003 sebagai putri kedua dari tiga bersaudara, pasangan Bapak Khoirulloh dan Ibu Eni Herlina. Pendidikan formal diawali di TK Dharma Wanita Persatuan Kec. Kalianda yang diselesaikan pada tahun 2009, pendidikan dasar di SDN 1 Kecapi lulus pada tahun 2015, pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Kalianda lulus pada tahun 2018, dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Kalianda lulus pada tahun 2021.

Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai pimpinan dan pengurus dalam unit kegiatan mahasiswa yaitu Forum Silaturahmi Mahasiswa Pendidikan Kimia (Fosmaki) dan pernah mengikuti Himpunan Mahasiswa Pendidikan Eksakta (Himasakta), serta pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah.

Tahun 2024 penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Semanak, Kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. Kegiatan KKN tersebut terintegrasi dengan program Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) yang dilaksanakan di SDN Semana, Kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan.

MOTTO

“Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar. Keberhasilan adalah milik mereka yang senantiasa berusaha”

(Bacharuddin Jusuf Habibie)

"Orang yang meraih kesuksesan tidak selalu orang yang pintar. Orang yang selalu meraih kesuksesan adalah orang yang gigih dan pantang menyerah"

(Susi Pudjiastuti)

"Dunia itu tempat berjuang, istirahat itu di surga"

(Syekh Ali Jaber)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucapkan syukur “alhamdulillah” kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya yang tiada terputus, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Dengan segala ketulusan hati, mengharapkan ridho-Mu, ku persembahkan skripsi ini kepada:

**Orang tuaku tersayang
Ayah (Khoirulloh) dan Ibu (Eni Herlina)**

Support system terbaikku dan panutanku, yang selalu sabar menyertai segala perjalanan kehidupanku. Terima kasih telah merawat dan membesarkanku dengan segala kasih sayang yang diberikan. Terima kasih juga atas semua bimbingan, nasihat, motivasi, inspirasi, limpahan doa yang tiada hentinya diberikan kepadaku, serta semua pengorbanan yang telah dilakukan dan diusahakan. Semoga skripsi ini sebagai salah satu wujud baktiku dan ungkapan rasa kasih sayang yang tak terhingga.

**Saudara Kandungku
Kakak (Kenny Candra Pradana, M.Pd.) dan Adik (Asyifa Khoirunisa)**

Yang senantiasa memberikan semangat, dukungan dan menantikan keberhasilanku. Terimakasih atas segala canda tawa yang sangat menghiburku.

**Almamater tercinta
Universitas Lampung**

SANWACANA

Puji syukur ke-hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat diselesaikan skripsi yang berjudul “Efektivitas PjBL-STEM Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi dalam Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa SMA” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pendidikan.

Dukungan dari beberapa pihak sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd. selaku 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 Koordinator Program Studi Pendidikan Kimia sekaligus pembahas, atas kesediaannya untuk memberikan kritik, saran, dan masukan demi perbaikan skripsi sehingga menjadi karya yang lebih baik;
4. Ibu Dr. Noor Fadiawati M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing I, atas kesabaran dan kesediaannya untuk memberikan motivasi, arahan, bimbingan, kritik, dan sarannya dalam proses penyelesaian kuliah dan penyusunan skripsi;
5. Ibu Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si., selaku Pembimbing II atas kesediaannya dalam memberikan motivasi, saran, bimbingan, arahan, dan masukan selama proses penyusunan skripsi;
6. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Pendidikan Kimia dan segenap Civitas Akademik Jurusan Pendidikan MIPA;
7. Bapak Febriansah, S.Pd., M.Pd., selaku Kepala SMA Negeri 13 Bandar Lampung, Bapak Yusuf Darmawan, S.Si., M.Pd., selaku wakil kepala kurikulum SMA Negeri 13 Bandar Lampung dan Ibu Eka Apriawati, S.Pd.,

M.Si., selaku guru mitra, serta peserta didik khususnya kelas XI. F4 atas bantuan dan kesediaannya selama melaksanakan penelitian;

8. Teman hidupku, Feri Andriyanto, S.Pd., yang selalu memberikan semangat, motivasi dan memberikan warna setiap harinya. Terimakasih telah menemani penulis dalam susah dan senang, serta menjadi bagian perjalanan penulis dalam menyelesaikan skripsi.
9. Rekan tim skripsi dan penelitian, Muhamad Amri Rosyid dan Feralia Safitri atas kebersamaan dalam penelitian dan penyusunan skripsi;
10. Rekan-rekan Pendidikan Kimia 2021 yang telah memberikan saran, dukungan, dan motivasi selama proses perkuliahan;
11. Teman-teman seperjuangan 4 tahunku, Indri Cahyati, Hafsa Salima Tsaniyah, dan Nurmalida Utari atas semangat, motivasi, dukungan, bantuan, kebersamaan dan canda tawanya selama perkuliahan;
12. Teman-teman KP, Andhea, Haya, Dewi, Tia, Siska, Anggi, Veni dan Nanda atas bantuan, semangat, dan canda tawanya selama perkuliahan;
13. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhirnya, penulis berharap semoga kedepannya skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 19 Juni 2025
Penulis,



Kartika Tiara Putri
NPM 2113023001

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	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Pembelajaran PjBL-STEM.....	6
B. Keterampilan Pemecahan Masalah	8
C. Biogas	12
D. Kotoran Sapi.....	15
E. Penelitian Relevan.....	16
F. Kerangka Pemecahan Masalah dalam Pengolahan Kotoran Sapi.....	18
G. Kerangka Pemikiran	19
H. Hipotesis Penelitian.....	21
III. METODE PENELITIAN	22
A. Populasi dan Sampel Penelitian	22
B. Desain Penelitian.....	22
C. Variabel Penelitian.....	23
D. Jenis dan Sumber Data	23
E. Instrumen Penelitian dan Validasi Instrumen	23
F. Prosedur Penelitian.....	25
G. Teknik Analisis Data dan Pengujian Hipotesis.....	28

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
A. Hasil Penelitian	34
B. Pembahasan	43
V. KESIMPULAN DAN SARAN	60
A. Kesimpulan.....	60
B. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	69
Lampiran 1. Hasil skor pretes dan postes keterampilan pemecahan masalah siswa	70
Lampiran 2. Data hasil perhitungan skor pretes-postes dan <i>n-gain</i> keterampilan pemecahan masalah siswa	72
Lampiran 3. Hasil output uji hipotesis SPSS	73
Lampiran 4. Data skor hasil kinerja produk siswa.....	74
Lampiran 5. Data skor hasil kinerja produk berpikir siswa	75
Lampiran 6. Data skor respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM ...	77
Lampiran 7. Data skor keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Indikator pemecahan masalah IDEAL berdasarkan Bransford & Stein (Susiana, 2010).	11
2. Penelitian relevan	16
3. Desain penelitian.....	22
4. Klasifikasi <i>n-gain</i>	29
5. Kategori respon siswa	30
6. Kriteria penskoran respon siswa	30
7. Kriteria tingkat ketercapaian pelaksanaan pembelajaran.....	31
8. Hasil uji normalitas sampel penelitian	36
9. Hasil uji perbedaan dua rata-rata	37
10. Hasil skor kinerja produk pada setiap kelompok	37
11. Hasil skor kinerja produk berpikir siswa	40
12. Hasil persentase respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Reaksi pembentukan biogas (Haryati, 2006)	14
2. Kerangka pemecahan masalah pengolahan kotoran sapi	18
3. Kerangka pemikiran	20
4. Diagram alir penelitian.....	27
5. Skor rata-rata pretes dan postes keterampilan pemecahan masalah.....	34
6. Skor rata-rata pretes dan postes pada setiap indikator keterampilan pemecahan masalah.....	35
7. <i>N-gain</i> rata-rata pada setiap indikator keterampilan pemecahan masalah	36
8. Persentase keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM	42
9. Salah satu hasil identifikasi pengetahuan yang diperoleh siswa sebelum konsultasi	43
10. Salah satu hasil identifikasi pengetahuan yang diperoleh siswa setelah konsultasi	44
11. Salah satu hasil identifikasi pengetahuan yang dibutuhkan siswa sebelum konsultasi	45
12. Salah satu hasil identifikasi pengetahuan yang dibutuhkan siswa setelah konsultasi	45
13. Salah satu hasil solusi yang ditawarkan siswa dalam mengatasi kelangkaan energi sebelum konsultasi	45
14. Salah satu hasil solusi yang ditawarkan siswa dalam mengatasi kelangkaan energi setelah konsultasi	46
15. Salah satu hasil informasi kandungan kotoran sapi sebelum konsultasi.....	47
16. Salah satu hasil informasi kandungan kotoran sapi setelah konsultasi	47
17. Salah satu hasil kandungan zat dan kandungan mikroorganisme kotoran sapi yang dapat dimanfaatkan menjadi biogas sebelum konsultasi	48
18. Salah satu hasil kandungan zat dan kandungan mikroorganisme kotoran sapi yang dapat dimanfaatkan menjadi biogas setelah konsultasi	48

19. Salah satu hasil informasi proses penguraian kotoran sapi menjadi biogas sebelum konsultasi	49
20. Salah satu hasil informasi proses penguraian kotoran sapi menjadi biogas setelah konsultasi	49
21. Salah satu hasil informasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil biogas sebelum konsultasi	50
22. Salah satu hasil informasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil biogas setelah konsultasi	50
23. Salah satu hasil menentukan variabel-variabel pembuatan biogas oleh orang lain sebelum konsultasi	51
24. Salah satu hasil menentukan variabel-variabel pembuatan biogas oleh orang lain setelah konsultasi	52
25. Salah satu hasil penentuan variasi bahan dalam pembuatan biogas sebelum konsultasi	52
26. Salah satu hasil penentuan variasi bahan dalam pembuatan biogas setelah konsultasi	53
27. Salah satu hasil penentuan variabel dalam pembuatan biogas sebelum konsultasi	53
28. Salah satu hasil penentuan variabel dalam pembuatan biogas setelah konsultasi	54
29. Salah satu hasil penentuan bahan dalam pembuatan biogas sebelum konsultasi	54
30. Salah satu hasil penentuan bahan dalam pembuatan biogas setelah konsultasi	54
31. Salah satu hasil modifikasi prosedur percobaan pembuatan biogas sebelum konsultasi	55
32. Salah satu hasil modifikasi prosedur percobaan pembuatan biogas setelah konsultasi	55
33. Alat pembuatan biogas dari kotoran sapi	56
34. Dokumentasi pelaksanaan proyek pembuatan biogas dari kotoran sapi.....	57
35. Presentasi kelompok 1 & 2 dengan komposisi ragi 5 gram	58
36. Presentasi kelompok 3 & 4 dengan komposisi ragi 10 gram	58
37. Presentasi kelompok 5 & 6 dengan komposisi ragi 15 gram	58

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Keterampilan memecahkan masalah adalah keterampilan dasar yang harus dimiliki setiap individu untuk menghadapi tantangan kehidupan yang semakin kompleks. Di abad ke-21, keterampilan ini menjadi salah satu fokus utama dalam pendidikan (Gongden, 2016; Kivunja, 2015; Wang et al., 2018). Pemecahan masalah merupakan proses kognitif yang bertujuan untuk mencapai tujuan tertentu, melibatkan kemampuan untuk menyusun dan memproses informasi, serta memahami masalah melalui tahapan sistematis (Mefoh et al., 2017; Sujarwanto et al., 2014; Mandani & Ochonogor, 2018). Proses ini juga mencakup keterampilan bernalar secara analitis, berpikir kritis, dan berkreasi secara produktif (Seyhan, 2015). Keterampilan ini penting dimiliki oleh siswa, karena siswa akan mampu menerapkan pengetahuan yang dimilikinya dalam konteks permasalahan tersebut (Arimbawa et al., 2013).

Di Indonesia, keterampilan pemecahan masalah siswa masih tergolong rendah. Pada survey *Program for International Student Assessment (PISA) 2022* yang dirilis oleh *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)*, Indonesia menempati peringkat ke-68 dari 81 negara. Hal ini menunjukkan bahwa, Indonesia berada pada *kuadran low performance* (OECD, 2023), karena soal-soal yang diujikan dalam PISA berupa soal-soal pemecahan masalah kontekstual dalam kehidupan sehari-hari (Kurniawati et al., 2019). Data ini didukung oleh beberapa hasil penelitian relevan yang juga mengungkapkan bahwa keterampilan pemecahan masalah siswa di Indonesia masih rendah (Arfiana & Wijaya, 2018; Fitroh et al., 2020; Franestian et al., 2020).

Fakta diatas diperkuat dengan hasil observasi dan wawancara salah satu guru di SMAN 13 Bandar Lampung. Berdasarkan informasi yang didapatkan, pembelajaran kimia di sekolah masih berpusat pada guru (*teacher center*), dimana guru lebih fokus pada penyampaian kurikulum secara terstruktur tanpa memberikan tantangan kepada siswa untuk menyelesaikan masalah yang relevan dengan mata pelajaran. Akibatnya, siswa kurang terlatih untuk menghubungkan konsep-konsep yang telah dipelajari dalam menghadapi masalah nyata, sehingga keterampilan siswa dalam memecahkan masalah belum berkembang dengan baik. Oleh karena itu, keterampilan pemecahan masalah siswa perlu dilatih di sekolah, yaitu dengan menghadapkan siswa pada pembelajaran yang melibatkan siswa secara aktif dalam menyelesaikan masalah, baik pada mata pelajaran tertentu maupun masalah dalam kehidupan sehari-hari (Nurwahyuningsih et al., 2019).

Kelangkaan energi merupakan salah satu masalah utama dalam kehidupan sehari-hari (Smal & Wieprow, 2023). Salah satu solusi untuk mengatasi kelangkaan energi adalah mengembangkan energi alternatif dengan memanfaatkan sumber daya alam (Hamri et al., 2023). Hal ini sejalan dengan tujuan dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang menekankan pentingnya pembelajaran dengan memperhatikan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi (JDIH Kemaritiman & Investasi, 2022). Langkah yang dapat diimplementasikan dalam pengembangan energi alternatif adalah pembuatan biogas (Utami & Pramelani, 2024; Usman et al., 2021). Biogas dihasilkan oleh mikroorganisme secara anaerobik melalui proses fermentasi limbah kotoran sapi (Wahyuni, 2011).

Kesadaran akan masalah kelangkaan energi dan pentingnya energi alternatif perlu ditanamkan sejak dini (Napis et al., 2023; Anggraini & Yuniastuti, 2019). Untuk mewujudkan hal tersebut, pemerintah Indonesia telah mengintegrasikannya kedalam kurikulum pendidikan sebagai capaian pembelajaran (Barlian et al., 2022). Dalam capaian kimia fase E pada kurikulum merdeka, siswa diharapkan mampu merespon isu-isu global dan berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah (Kemendikbudristek BSKAP, 2022).

Salah satu cara yang diajarkan kepada siswa untuk mengatasi masalah kelangkaan energi, yaitu siswa ditantang untuk berinovasi dalam menghasilkan biogas secara

optimal dengan memanfaatkan kotoran sapi. Dalam proses ini, siswa diminta untuk mencari informasi dari berbagai sumber tentang proses pembuatan biogas dari kotoran sapi. Setelah itu siswa dapat menerapkan pengetahuan yang telah dimiliki untuk dapat merancang percobaan dan menentukan berbagai variabel yang akan divariasi. Rancangan percobaan tersebut, kemudian diterapkan melalui eksperimen dengan memanfaatkan konsep ilmiah, seperti fermentasi anaerob untuk menghasilkan produk biogas yang maksimal. Melalui kegiatan ini, siswa dapat memahami proses fermentasi bagaimana kotoran sapi dapat diolah menjadi sumber energi berupa biogas.

Dengan menerapkan proses pembelajaran seperti diatas, siswa tidak hanya diberikan pengetahuan berupa konsep terkait energi alternatif, tetapi juga menerapkannya dalam konteks nyata melalui proyek yang dirancang untuk memecahkan masalah (Mariya et al., 2024). Salah satu model pembelajaran yang sesuai dengan permasalahan diatas adalah model pembelajaran *Project-Based Learning* (PjBL) yang terintegrasi dengan pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), yang dikenal dengan istilah PjBL-STEM (Afriana, 2022).

Model pembelajaran PjBL-STEM ini mengarahkan siswa untuk memiliki sikap ilmiah, menggunakan teknologi dalam merancang maupun membuat suatu produk, dan mengembangkan konsep berpikir matematis dalam proses ilmiah (Dianti et al., 2018). Selain itu, model PjBL-STEM terbukti mampu meningkatkan motivasi belajar, membuat pembelajaran lebih bermakna, dan membantu siswa dalam menyelesaikan permasalahan (Tseng et al., 2013). Dengan menerapkan model pembelajaran PjBL-STEM di sekolah, diharapkan keterampilan pemecahan masalah siswa dapat meningkat. Beberapa hasil penelitian relevan membuktikan bahwa, penerapan model pembelajaran PjBL-STEM efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa (Roslina et al., 2023; Muzana et al., 2021; Purwaningsih et al., 2020).

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul “Efektivitas PjBL-STEM Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi dalam Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa SMA”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana efektivitas PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa SMA?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini untuk mendeskripsikan efektivitas PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa SMA.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pihak yang bersangkutan yaitu :

1. Siswa

Memberikan pengalaman secara langsung kepada siswa dalam melatih keterampilan pemecahan masalah pada proses pembuatan biogas dari kotoran sapi dengan menggunakan pembelajaran PjBL-STEM, serta melatih siswa untuk menghargai pentingnya energi alternatif guna mengatasi masalah kelangkaan energi, sehingga dapat bijaksana dalam menggunakan sumber energi.

2. Guru

Sebagai salah satu alternatif bagi guru dan calon guru dalam memilih pembelajaran berbasis proyek yang mampu meningkatkan keterampilan pemecahan masalah.

3. Sekolah

Sebagai masukan untuk sekolah dalam menerapkan pembelajaran kimia dengan pembelajaran PjBL-STEM dalam meningkatkan mutu pembelajaran kimia.

4. Peneliti lain

Menjadi referensi bagi peneliti lain untuk melakukan penelitian yang berkaitan dengan pembelajaran PjBL-STEM dan keterampilan pemecahan masalah.

E. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Indikator keterampilan pemecahan masalah yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan *framework* Bransford & Stein (1984).
2. Pembelajaran PjBL-STEM yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan *framework* Laboy-Rush (2010).
3. Pembelajaran PjBL-STEM dikatakan efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa, apabila *n-gain* rata-rata yang diperoleh berkategori minimal sedang, serta terdapat perbedaan yang signifikan antara skor rata-rata postes dan pretes.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembelajaran PjBL-STEM

Pembelajaran PjBL yang terintegrasi dengan STEM adalah langkah inovatif dalam pembelajaran yang mendorong siswa untuk berkolaborasi dalam merancang proses belajar dan menciptakan produk yang dapat dijadikan sumber belajar (Jauhariyyah et al., 2017). Pembelajaran PjBL-STEM adalah salah satu pembelajaran kolaboratif dikarenakan karakteristik model pembelajaran tersebut yang menekankan siswa belajar secara aktif dan berkelompok serta saling berbagi informasi sehingga membantu membuka wawasan siswa lain dalam berpikir (Ralph, 2015). Pembelajaran dengan menggunakan model PjBL-STEM menjadi alternatif upaya yang dilakukan guru untuk menyiapkan siswa agar mampu menyelesaikan masalah yang ditemukan dalam dunia nyata. Pembelajaran ini akan membiasakan siswa berpikir logis dan dapat menggunakan teknologi dalam memecahkan masalah yang ditemukan (Aulia, 2023). Kegiatan dalam pembuatan proyek yang menghasilkan produk menuntut keaktifan siswa dalam belajar menggunakan kompetensinya dibidang STEM (Lydiati, 2019).

PjBL-STEM dapat digunakan sebagai cara belajar terbaru dengan menghasilkan sumber belajar yang dimaksud melalui pemanfaatan ilmu pengetahuan, teknologi, teknik, dan matematika untuk mengatasi masalah nyata dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah yang berdampak positif pada aspek kognitif, kreativitas dan sikap siswa terhadap pembelajaran ilmiah (Hickey, 2014; Tseng et al., 2013, Purwaningsih et al., 2020). Selain dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah, PjBL-STEM juga dapat menciptakan pembelajaran yang bermakna dan meningkatkan sikap positif siswa (Fortus et al., 2005). Melalui integrasi PjBL-STEM, siswa dapat mentransfer pengetahuan antar empat disiplin ilmu berkat proyek yang mereka hasilkan.

Terdapat beberapa keunggulan dari penerapan model PjBL-STEM diantaranya sebagai berikut :

1. Siswa mampu memecahkan masalah menjadi lebih baik, inovatif, mandiri, berpikir logis, dan literasi teknologi (Stohlmann et al., 2012).
2. Mengharuskan siswa untuk berpikir kritis, kreatif, analisis dan meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Capraro et al., 2013).
3. Memberikan pengalaman siswa menyelesaikan masalah nyata dengan kegiatan praktikum, sehingga dapat meningkatkan efektifitas, pembelajaran bermakna dan menunjang karir dimasa depan (Tseng et al., 2013).

Sintaks pembelajaran PjBL-STEM terdiri dari lima tahapan pembelajaran menurut Laboy-Rush (2010), yaitu *reflection*; *research*; *discovery*; *application*; dan *communication*. Dalam setiap tahapan pembelajaran tersebut tentunya terdapat kegiatan-kegiatan yang akan membimbing siswa dalam melakukan penyelidikan ilmiah yang akan membangun pengetahuan siswa. Berikut ini merupakan penjelasan dari lima tahapan pembelajaran dalam PjBL-STEM menurut Laboy-Rush (2010), yaitu:

1. *Reflection*

Kegiatan *reflection* bertujuan untuk membawa siswa ke dalam konteks masalah dan memberikan inspirasi kepada siswa agar dapat segera memulai untuk menyelidiki dan menginvestigasi. Tahap ini juga bertujuan untuk menghubungkan pengetahuan yang telah dimiliki dengan hal-hal yang perlu dipelajari oleh siswa. Masalah yang disajikan mendorong siswa untuk bertanya, merumuskan hipotesis, dan melakukan penyelidikan lebih lanjut.

2. *Research*

Kegiatan *research* merupakan proses penelitian siswa, di mana guru memberikan pembelajaran berupa sains dan memilih bacaan atau cara lain untuk mengumpulkan sumber informasi yang relevan. Proses belajar lebih banyak terjadi selama tahap ini, kemajuan belajar siswa dapat mengkonkretkan pemahaman abstrak dari masalah. pada tahap ini guru lebih sering membimbing siswa untuk berdiskusi dalam menentukan apakah siswa telah mengembangkan pemahaman konseptual dan relevan berdasarkan proyek yang akan kerjakan.

3. *Discovery*

Kegiatan *discovery* merupakan penemuan yang umumnya melibatkan proses menghubungkan tahap penelitian dan informasi yang diketahui dalam penyusunan proyek ketika siswa mulai belajar mandiri dan menentukan apa yang belum diketahuinya. Beberapa pembelajaran dari PjBL-STEM membagi siswa menjadi beberapa kelompok kecil untuk menyajikan solusi yang mungkin untuk masalah, berkolaborasi dan membangun kerja sama antar teman kelompok. Tahap ini juga digunakan untuk mengembangkan kemampuan-kemampuan siswa dalam membangun kebiasaan berpikir secara fleksibel (*habit of mind*) dari proses merancang untuk mendesain.

4. *Application*

Kegiatan *application* bertujuan untuk menguji hasil produk dan solusi dalam memecahkan suatu masalah. Dalam beberapa kasus, siswa menguji produk yang dibuat dari ketentuan yang telah ditetapkan sebelumnya, hasil yang diperoleh digunakan untuk memperbaiki langkah sebelumnya. Pada tahap ini juga siswa belajar konteks yang lebih luas di luar STEM dan menghubungkan antara disiplin bidang STEM.

5. *Communication*

Kegiatan *communication* merupakan tahap akhir dalam setiap proyek dalam membuat produk atau solusi dengan mengkomunikasikan antara teman maupun lingkup kelas. Presentasi merupakan langkah penting dalam proses pembelajaran untuk mengembangkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi maupun kemampuan untuk menerima dan menerapkan umpan balik yang saling berkaitan (konstruktif). Siswa dapat saling bertanya, berbagi ide berdasarkan pemahaman konsep yang dimiliki, dan menyimpulkan konsep, teori, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Seringkali penilaian yang dilakukan berdasarkan langkah dari tahap ini.

B. Keterampilan Pemecahan Masalah

Menurut Mefoh et al., (2017) pemecahan masalah adalah proses kognitif untuk menemukan cara mencapai tujuan. Menurut Sujarwanto et al., (2014) pemecahan masalah adalah kemampuan seseorang untuk menemukan solusi melalui suatu

proses yang melibatkan pemerolehan dan pengorganisasian informasi. Menurut Mandani & Ochonogor, (2018) pemecahan masalah adalah kemampuan generik yang mencakup kemampuan memahami masalah serta tahapan-tahapan yang terlibat. Berdasarkan pendapat beberapa peneliti tersebut, dapat disimpulkan bahwa kemampuan pemecahan masalah adalah proses kognitif yang bertujuan untuk mencapai tujuan tertentu, melibatkan kemampuan untuk menyusun dan memproses informasi, serta memahami masalah melalui tahapan sistematis. Menurut Amalliyah et al., (2022) keterampilan pemecahan masalah dapat digunakan untuk membantu siswa dalam memahami, menentukan strategi penyelesaian, dan menyelesaikan masalah.

Salah satu indikator pemecahan masalah yang dapat digunakan adalah menurut Bransford & Stein (1984). Langkah-langkah pemecahan masalah yang diperkenalkan oleh Bransford & Stein dikenal sebagai IDEAL. Pemecahan masalah IDEAL memiliki 5 tahapan. IDEAL adalah akronim dari 5 tahapan tersebut yaitu *I-Identify problems and opportunities* (mengidentifikasi masalah dan peluang), *D-Define goals* (menentukan tujuan), *E- Explore possible strategies* (mengeksplorasi strategi yang mungkin), *A-Anticipate outcomes and act* (mengantisipasi hasil dan tindakan), serta *L-Look back and learn* (melihat kembali dan belajar).

Lima tahapan ini telah disusun secara rinci sehingga dapat mempermudah analisis langkah pemecahan masalah siswa (Indriyani et al., 2018). Menurut Yanti dan Syazali (2016), metode pemecahan masalah IDEAL ialah kegiatan pembelajaran dengan cara melatih siswa menyelesaikan masalah yang diberikan untuk meningkatkan pemahaman terhadap suatu materi secara konseptual dan prosedural.

Berikut ini merupakan 5 tahapan pemecahan masalah IDEAL menurut Bransford & Stein (1984) yaitu:

1. *Identify problems and opportunities* (mengidentifikasi masalah dan peluang)
Tahapan pertama pada pemecahan masalah IDEAL adalah mengidentifikasi potensi masalah dan memperlakukannya sebagai peluang untuk melakukan sesuatu yang kreatif. Ketika masalah diperlakukan sebagai peluang, hasilnya sering kali berupa solusi atau penemuan yang jika tidak demikian akan luput

dari perhatian orang. Bahkan, akan bermanfaat untuk secara aktif mencoba mengidentifikasi masalah yang tidak diperhatikan.

2. *Define goals* (menentukan tujuan)

Tahapan kedua pada pemecahan masalah IDEAL adalah mengembangkan pemahaman dari masalah yang telah diidentifikasi dan dengan cermat menentukan tujuan dalam situasi masalah. menentukan tujuan berbeda dengan mengidentifikasi masalah. Misalnya, sekelompok orang dapat mengidentifikasi keberadaan masalah umum dan setuju bahwa itu merupakan peluang tetapi masih tidak setuju tentang apa yang seharusnya menjadi tujuan mereka. Sebuah masalah yang ada tergantung pada bagaimana mereka menentukan tujuan, dan hal ini mempunyai efek yang penting dari solusi atau jawaban yang dicoba. Perbedaan dalam penentuan tujuan dapat menjadi penyebab terhadap kemampuan seseorang dalam memahami suatu masalah, berpikir, dan menyelesaikan masalah.

3. *Explore possible strategies* (mengeksplorasi strategi yang mungkin)

Tahapan ketiga pada pemecahan masalah IDEAL adalah mengeksplorasi strategi yang mungkin dilakukan dan mengevaluasi untuk memecahkan masalah. Strategi tersebut sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Hal ini sering kali melibatkan analisis ulang tujuan ditambah pertimbangan opsi atau strategi yang dapat digunakan untuk mencapai tujuan tersebut.

4. *Anticipate outcomes and act* (mengantisipasi hasil dan bertindak)

Tahapan keempat pada pemecahan masalah IDEAL adalah mengantisipasi hasil dan bertindak. Tahapan sebelumnya telah menekankan pentingnya mengidentifikasi masalah dan peluang untuk menjadi kreatif, menentukan tujuan, dan mengeksplorasi rencana atau strategi untuk mencari solusi. Ketika strategi dipilih, maka penting untuk mengantisipasi kemungkinan hasil dan kemudian bertindak berdasarkan strategi yang dipilih. Mengantisipasi kemungkinan hasil akan berguna dari tindakan yang mungkin akan disesali di kemudian hari.

5. *Look back and learn* (melihat kembali dan belajar)

Tahapan terakhir pada pemecahan masalah IDEAL adalah melihat akibat yang nyata dari strategi yang digunakan dan belajar dari pengalaman yang

didapat. Melihat dan belajar perlu dilakukan karena setelah mendapatkan hasil, banyak yang lupa melihat kembali dan belajar dari penyelesaian masalah yang telah dilakukan.

Adapun indikator keterampilan pemecahan masalah berdasarkan langkah-langkah pemecahan masalah IDEAL menurut Bransford & Stein (dalam Susiana, 2010) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator pemecahan masalah IDEAL berdasarkan Bransford & Stein (Susiana, 2010).

No (1)	Tahapan Pemecahan Masalah IDEAL (2)	Indikator (3)
1	<i>Identify problems and opportunities</i> (mengidentifikasi masalah dan peluang)	Siswa memahami permasalahan secara umum, memecahkan masalah menjadi beberapa bagian, dan mengumpulkan informasi berkaitan dengan masalah
2	<i>Define goals</i> (menentukan tujuan)	Siswa menetapkan tujuan yang ingin dicapai untuk mengatasi permasalahan
3	<i>Explore possible strategies</i> (mengeksplorasi strategi yang mungkin)	Siswa mencari strategi yang mungkin dilakukan dalam penyelesaian masalah dan melakukan pengkajian terhadap strategi penyelesaian masalah dari berbagai sudut pandang
4	<i>Anticipate outcomes and act</i> (mengantisipasi hasil dan bertindak)	siswa mengantisipasi hasil dalam penyelesaian masalah dan melakukan penyelesaian masalah dengan strategi yang dipilih
5	<i>Look back and learn</i> (melihat kembali dan belajar)	Siswa melihat kembali kecocokan antara tujuan yang ingin dicapai dengan hasil yang didapat dan belajar dari strategi yang digunakan dalam menyelesaikan masalah

Keterampilan pemecahan masalah memiliki kelebihan dalam penerapannya dalam pembelajaran. Kelebihannya yaitu dapat menantang kemampuan peserta didik, dapat meningkatkan aktivitas peserta didik, serta pemecahan masalah dapat membantu peserta didik bagaimana mentransfer pengetahuan yang dimiliki peserta didik untuk memahami masalah dalam kehidupan nyata (Pinarahayu, 2017). Selain kelebihan, keterampilan pemecahan masalah juga memiliki kelemahan yaitu keberhasilan cara pembelajaran melalui pemecahan masalah membutuhkan waktu yang cukup lama untuk persiapan serta siapa peserta didik yang tidak memiliki minat atau tidak mempunyai kepercayaan bahwa masalah yang dihadapi sulit untuk diatasi maka peserta didik akan merasa enggan untuk mencoba (Pinarahayu, 2017).

C. Biogas

Biogas adalah energi alternatif yang melimpah, ramah lingkungan, berkelanjutan, dan dapat diperbarui (Yonathan et al., 2013; Irawan & Suwanto, 2016). Biogas memiliki nilai kalori tinggi, berkisar antara 4800-6700 kkal/m³. Nilai panas pembakaran tersebut sedikit lebih rendah dari nilai pembakaran gas metana murni (100%) yang memiliki nilai kalori 8.900 kkal/m³, menjadikannya bahan bakar yang efisien (Prasetyo & Rangkuti, 2015). Nilai kalori dari 1 m³ biogas setara dengan 0,5-0,8 liter minyak tanah. Untuk menghasilkan listrik 1 Kwh dibutuhkan 0,62-1 m³ biogas yang setara dengan 0,52 liter minyak tanah (Karaman, 2021). Oleh karena itu, biogas sangat cocok digunakan sebagai pengganti minyak tanah, LPG, dan bahan bakar fosil lainnya (Wahyuni, 2013).

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh penguraian biologis bahan organik tanpa adanya oksigen. Biogas dihasilkan melalui pencernaan anaerobik bahan *bio-degradable* seperti biomassa, pupuk kandang, limbah kota, dan tanaman energi. Pada pembuatan biogas, mikroorganisme berperan dalam mengubah substrat organik, seperti limbah agroindustri menjadi metana dan karbon dioksida (Colussi et al., 2012). Secara umum, biogas diproduksi melalui alat yang dirancang agar kedap udara yang disebut reaktor biogas (biodigester). Biogas mulai terbentuk pada hari ke 4-5 setelah biodigester terisi dan mencapai maksimum pada hari ke 20-25 (Salim & Kafiari, 2017). Biogas yang dihasilkan sebagian besar terdiri dari 50-70% gas metana (CH₄), 30-50% gas karbon dioksida (CO₂), 5-10% gas hidrogen (H₂), dan gas lainnya termasuk NH₃ dan H₂S dalam jumlah sedikit bergantung pada sifat bahan organik/stok pakan yang digunakan (Saha et al., 2016; Salim & Kafiari, 2017; Wahyuni, 2013).

Pembentukan biogas terdiri dari tiga tahapan, yaitu tahap hidrolisis, asidifikasi dan metanogenesis (Salim & Kafiari, 2017). Berikut penjelasan dari ketiga tahapan pembentukan biogas tersebut;

1. Tahap hidrolisis

Pada tahap hidrolisis terjadi penguraian bahan-bahan organik yang mudah larut atau pemutusan senyawa rantai panjang seperti karbohidrat, protein, dan lemak menjadi senyawa rantai pendek oleh enzim dan dibantu dengan air.

Enzim tersebut dihasilkan oleh bakteri yang terdapat dari bahan-bahan organik. Tahap ini juga disebut sebagai perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer.

2. Tahap asidifikasi

Pada tahap asidifikasi (pengasaman), bakteri (*Acetobacter aceti*) menghasilkan asam untuk mengubah senyawa rantai pendek hasil proses hidrolisis menjadi asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri memerlukan oksigen dan karbon dioksida yang diperoleh dari oksigen terlarut yang terdapat dalam larutan. Pembentukan asam pada kondisi anaerobik tersebut penting untuk pembentukan gas metana oleh mikroorganisme pada proses selanjutnya. Selain itu, bakteri tersebut juga mengubah senyawa berantai pendek menjadi alkohol, asam organik, asam amino, karbon dioksida, hidrogen sulfida, dan sedikit gas metana. Tahap ini termasuk reaksi eksotermis yang menghasilkan energi.

3. Tahap metanogenesis

Pada tahap ini, bakteri *Methanobacterium omelianski* mengubah senyawa hasil proses asidifikasi menjadi metana dan karbon dioksida (CO_2) dalam kondisi anaerob. Proses pembentukan gas metana ini termasuk reaksi eksotermis. Reaksi kimia yang terjadi pada proses pembentukan biogas hingga menghasilkan metana disajikan pada Gambar 1.

Menurut Simamora et al., (2006), beberapa hal yang harus diperhatikan dalam produksi biogas diantaranya :

1. Kondisi digester harus anaerob (kedap udara)

2. Bahan baku

Bahan baku berasal dari bahan organik seperti kotoran ternak, limbah pertanian, dan limbah organik. Komposisi bahan baku harus mengandung bahan kering sekitar 7-9%. Keadaan tersebut dapat dicapai dengan pengenceran menggunakan air yang perbandingannya 1:1 (bahan baku:air).

3. Suhu

Pada suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah bakteri metanogenik tidak aktif sehingga akan menghambat produksi biogas. Suhu yang baik untuk

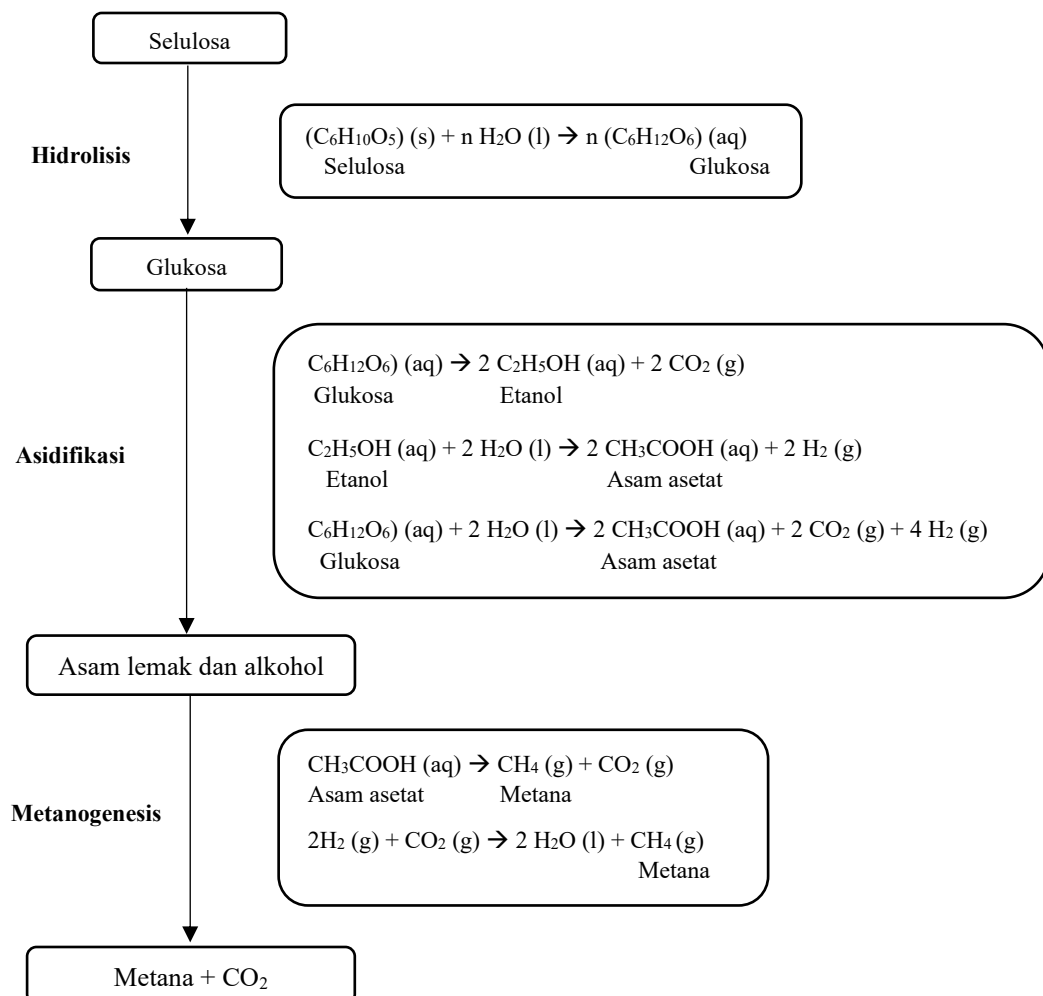
produksi biogas kisaran 25⁰C-30⁰C. Selain itu, jika suhu terlalu tinggi akan menyebabkan digester mudah mengalami kerusakan.

4. pH

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

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, pengadukan juga berfungsi untuk mencegah terjadinya pengendapan di dasar digester yang dapat menghambat pembentukan biogas.



Gambar 1. Reaksi pembentukan biogas (Haryati, 2006)

D. Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah limbah hasil pencernaan sapi dan hewan lain dari subfamili Bovinae, yang jumlahnya sangat besar akibat tingginya populasi ternak sapi. Limbah ini sering menjadi sumber pencemaran lingkungan (Sulianti et al., 2024). Barnett et al., (2000) menyebutkan bahwa sapi berbobot 450 kg dapat menghasilkan 29 kg feses segar per hari. Populasi sapi potong di Indonesia diperkirakan 10,8 juta ekor, apabila satu ekor sapi rata-rata setiap harinya menghasilkan 7 kg kotoran kering, maka kotoran sapi kering yang dihasilkan di Indonesia sebesar 78,4 juta kilogram per hari (Budiyanto, 2011).

Kotoran sapi merupakan limbah utama peternakan, mengandung sekitar 30 % bahan organik dan berbagai unsur hara penting untuk tanaman, seperti nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, magnesium, belerang, dan boron (Fadliani et al., 2019). Namun, kandungan ini belum banyak diketahui masyarakat, sehingga kotoran sapi sering dianggap masalah lingkungan serius. Minimnya pengetahuan peternak tentang pengelolaan limbah menyebabkan kotoran sapi hanya menjadi polusi yang mengganggu kesehatan lingkungan sekitar (Junaidi et al., 2023).

Menurut Fuad dan Winarsih (2021), pemanfaatan kotoran sapi sebagai pupuk organik adalah salah satu alternatif tepat untuk mengurangi biaya pembelian pupuk serta memanfaatkan limbah secara optimal. Kotoran sapi yang sering terbuang atau mencemari lingkungan dapat diolah menjadi kompos, mengatasi masalah bau, dan mendukung keberlanjutan pertanian, terutama saat harga pupuk kimia tinggi. Penggunaan pupuk organik dari kotoran sapi tidak hanya menekan biaya pemeliharaan tanaman, tetapi juga berpotensi meningkatkan pendapatan petani jika dikelola dengan baik. Selain dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan pupuk organik, kotoran sapi juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar produksi energi alternatif berupa biogas, sebagai bentuk energi terbarukan melalui proses fermentasi anaerobik (Samosir & Merry, 2021).

Pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber energi alternatif, seperti biogas memberikan banyak keuntungan sebagai bahan bakar yang berkualitas, tidak berwarna, tidak berbau dan sangat tinggi daya nyalanya (Fidela et al., 2024; Haryati, 2006).

Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan yang tepat bagi peternak sapi (Karaman, 2021). Pengolahan kotoran sapi menjadi energi alternatif adalah langkah efektif untuk mendukung kelestarian lingkungan dan menciptakan kebersihan. Kotoran sapi yang sebelumnya terbuang sia-sia dan mencemari lingkungan dapat diubah menjadi biogas melalui teknik tertentu. Biogas ini memiliki manfaat signifikan, seperti mengurangi biaya operasional rumah tangga, misalnya sebagai bahan bakar yang lebih hemat dibanding bahan bakar minyak.

E. Penelitian Relevan

Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini disajikan dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Penelitian relevan

No (1)	Peneliti (2)	Judul (3)	Metode (4)	Hasil (5)
1	Purwaningsih et al., (2020)	The Effect Of STEM-PJBL and Discovery Learning on Improving Students' Problem-Solving Skills of The Impulse and Momentum Topic	Metode quasi eksperimen menggunakan <i>Non-equivaent Pretest-Postets Control Group Design</i>	Pembelajaran STEM-PjBL efektif meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa
2	Rasyid et al., (2023)	Project-Based Learning through the STEM Approach in Elementary Schools: How to Improve Problem-Solving Ability	Menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pra-eksperimental dengan desain <i>one-group pretest-posttest</i> .	Pembelajaran <i>Project-Based Learning</i> dengan pendekatan STEM efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa
3	Makuasa et al., (2024)	Development of a Chemistry Learning E-module Based on Project-based Learning with a STEM Approach to Improve Students Problem Solving and Communication Skills on Solubility and Solubility Product Material	Menggunakan metode pra-eksperimental dengan desain <i>one group pretest-posttest</i> dikombinasikan dengan <i>one-shot case</i> desain	E-modul pembelajaran kimia berbasis proyek pembelajaran dengan pendekatan STEM yang dikembangkan efektif digunakan meningkatkan kemampuan komunikasi siswa

Tabel 2. (lanjutan)

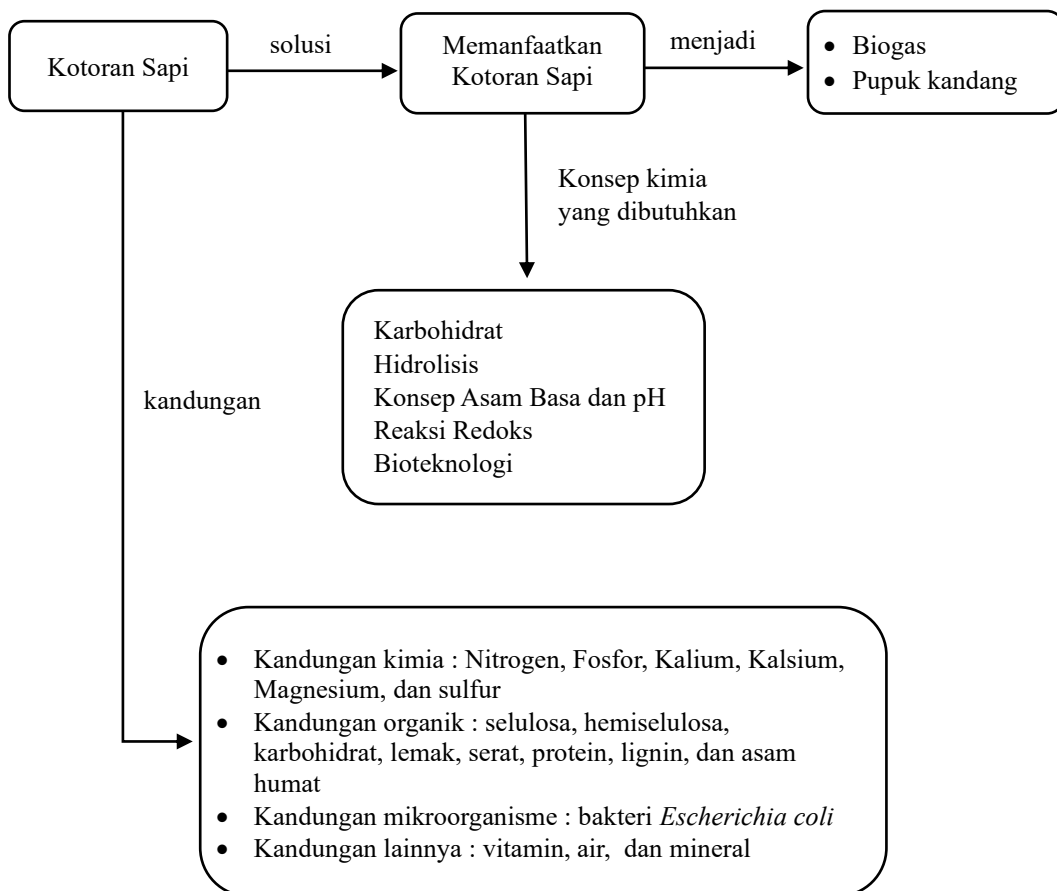
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
4	Muzana et al., (2021)	E-STEM project-based learning in teaching science to increase ICT literacy and problem solving	Menggunakan desain kelompok control non-ekuivalen, kuasi ekpreimnetal dengan menggunakan metode <i>Cluser Sampling</i>	Penerapan pembelajaran E-STEM dan pemecahan masalah dalam pembelajaran IPA dapat meningkatkan literasi TIK dan pemecahan masalah siswa
5	Roslina et al., (2023)	Project Based Learning with STEM on Alternative Energy Materials to Improve Problem Solving Skills In High School	Metode kuasi eksperimen dengan rancangan <i>Non-equivalent Pretest-Postets Control Group Design</i>	Pembelajaran STEM-PjBL efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa
6	Ningrum et al., (2024)	Improving problem-solving ability and collaboration skills of ecosystem material through STEM integrated project-based learning	Menggunakan metode eksperimen dengan desain <i>Quasi Experiment</i> dan bentuk <i>matching-only posttest-only control group design</i> .	Pembelajaran berbasis proyek terintegrasi STEM terhadap kemampuan pemecahan masalah dan keterampilan kolaborasi siswa pada materi ekosistem di Kelas X MIPA SMA Islam Cipasung.
7	Kartini et al., (2021)	Promoting Student's Problem-Solving Skills through STEM Project-Based Learning in Earth Layer and Disasters Topic	Menggunakan metode Pra-Eksperimen dengan desain <i>One-Group Pretest-Posttest</i> .	Pembelajaran berbasis proyek STEM dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa
8	Saptaji (2024)	Penerapan Model <i>Project Based Learning</i> dengan Pendekatan STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa SMP Pada Topik Perubahan Iklim	Menggunakan metode kuantitatif dengan desain <i>one-group pretest-posttest design</i> .	Pembelajaran PjBL-STEM terbukti dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa
9	Subekti (2024)	Keefektifan Model Pembelajaran <i>Project Based Learning</i> (PjBL) dengan Pendekatan STEM terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah dan Keterampilan Kolaborasi IPA Siswa SMP	Menggunakan metode <i>Quasi Experiment</i> dengan desain <i>Non-equivalent Pretest-Postets Control Group</i> .	Pembelajaran PjBL dengan pendekatan STEM efektif meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan keterampilan kolaborasi siswa SMP

Tabel 2. (lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	Baran (2021)	The Influence of Project-Based STEM (PjBL-STEM) Applications on the Development of 21st-Century Skills	Menggunakan metode Pra-Eksperimental dengan desain <i>One-Group Pretest-Posttest</i>	Pembelajaran PjBL-STEM efektif dapat meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa, seperti komunikasi, dan kolaborasi, pemecahan masalah, kreativitas, berpikir kritis, tanggung jawab, kesadaran lingkungan, dan literasi teknologi informasi.

F. Kerangka Pemecahan Masalah dalam Pengolahan Kotoran Sapi

Adapun kerangka pemecahan masalah pengolahan kotoran sapi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka pemecahan masalah pengolahan kotoran sapi

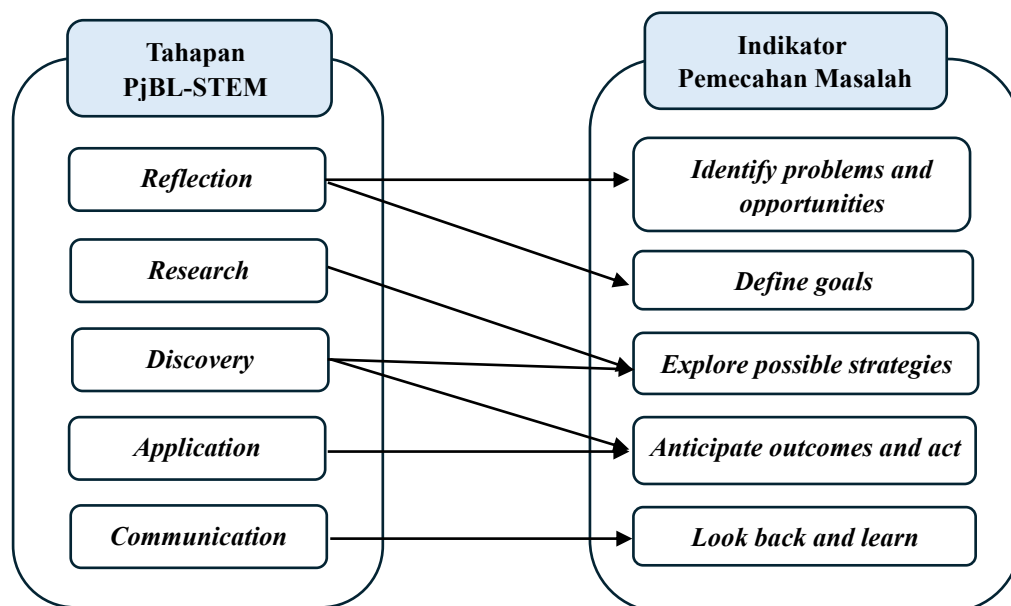
G. Kerangka Pemikiran

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendeskripsikan efektivitas PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa SMA. Menurut Laboy-Rush (2010), terdapat lima tahap yang perlu dilakukan untuk mengimplementasikan pembelajaran PjBL-STEM.

Pada tahap pertama diawali dengan *reflection*, yaitu siswa diminta untuk memahami dan mengidentifikasi masalah yang ada pada kehidupan nyata. Dimana siswa mengamati wacana berupa fenomena kelangkaan energi, lalu berdasarkan wacana tersebut siswa mengidentifikasi pengetahuan-pengetahuan yang diperoleh dari wacana yang disajikan dengan menghubungkan pengetahuan yang sudah dimiliki. Sehingga, siswa dapat menghubungkan pengetahuan yang sudah dimiliki dengan pengetahuan yang akan dipelajari dalam memecahkan masalah kelangkaan energi. Pada tahap ini juga siswa mencari ide atau solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah kelangkaan energi, sehingga pada tahap ini dapat dilatihkan keterampilan pemecahan masalah yaitu indikator *identify problems and opportunities* dan *define goals*.

Tahap kedua *research*, yaitu siswa mencari informasi dari berbagai sumber. Ketika siswa mendapatkan solusi bahwa pembuatan biogas dari kotoran sapi adalah cara untuk mengatasi masalah kelangkaan energi, selanjutnya siswa mengumpulkan data dan mencari informasi lebih dalam mengenai pengetahuan dalam pembuatan biogas dari kotoran sapi, meliputi kandungan pada kotoran sapi yang dapat diolah menjadi biogas, mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi biogas, proses penguraian kotoran sapi menjadi biogas, dan faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan biogas. Data yang didapatkan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, agar selanjutnya siswa dapat menerapkan pengetahuan yang sudah dimiliki. Pada tahap ini dapat dilatihkan keterampilan pemecahan masalah yaitu indikator *explore possible strategies*.

Tahap ketiga *discovery*, yaitu siswa mulai menerapkan pengetahuan yang telah dimiliki mengenai pembuatan biogas dari kotoran sapi. Pada tahap ini siswa mengidentifikasi hasil percobaan orang lain dan mencari informasi mulai dari bahan, variabel serta prosedur percobaan pembuatan biogas dari kotoran sapi yang telah dilakukan orang lain, selanjutnya siswa memvariasi bahan dan menetapkan bahan yang akan digunakan, serta memodifikasi prosedur percobaan berdasarkan hasil percobaan orang lain sesuai bahan yang telah divariasi. Pada tahap ini juga, siswa menentukan variabel percobaan untuk mengantisipasi hasil produk yang didapatkan, sehingga dalam tahap ini dapat dilatihkan keterampilan pemecahan masalah yaitu indikator *explore possible strategies* dan *anticipate outcomes and act*.



Gambar 3. Kerangka pemikiran

Tahap keempat *application*, yaitu siswa menghubungkan berbagai bidang STEM untuk mengaplikasikan hasil rancangan prosedur percobaan yang telah dibuat melalui eksperimen dengan menggunakan bahan yang sudah ditentukan dan alat digester yang sudah disiapkan. Pada tahap ini dapat dilatihkan keterampilan pemecahan masalah yaitu indikator *anticipate outcomes and act*. Tahap kelima *communication*, yaitu siswa mengkomunikasikan hasil produk kepada teman-teman dan guru melalui presentasi produk yang telah dibuat. Pada tahap ini, siswa memberikan kesempatan kepada kelompok lain untuk menanggapi, ber-

tanya dan memberikan pendapat atas hasil produk yang telah di presentasikan. Ditahap inilah siswa dapat mengkolaborasikan hasil presentasi dari seluruh kelompok untuk menarik kesimpulan berupa teori. Untuk menyimpulkan, siswa perlu melihat kembali semua proses yang telah dilakukan dalam percobaan sebagai acuan dalam pembelajaran selanjutnya, sehingga pada tahap ini dapat dilatihkan keterampilan pemecahan masalah yaitu indikator *look back and learn*. Adapun kerangka pemikiran dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir yang disajikan pada Gambar 3.

H. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa SMA.

III. METODE PENELITIAN

A. Populasi dan Sampel Penelitian

Penelitian dilaksanakan di SMAN 13 Bandar Lampung. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa di kelas XI. F SMAN 13 Bandar Lampung tahun pelajaran 2024/2025 yang berjumlah 142 siswa. Kelas XI. F SMAN 13 Bandar Lampung terdiri dari 4 kelas dengan jumlah siswa laki-laki 51 dan 91 perempuan. Dari 4 kelas tersebut, diambil satu kelas sebagai sampel penelitian.

Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*. *Purposive sampling* adalah teknik pengambilan sampel yang berdasarkan suatu pertimbangan tertentu yang dibuat oleh peneliti berdasarkan ciri atau sifat-sifat populasi yang sudah diketahui sebelumnya (Fraenkel et al., 2012). Pertimbangan tersebut didasarkan dari hasil observasi dengan guru mata pelajaran kimia. Berdasarkan informasi, kelas yang memiliki kemampuan kognitif yang relatif sama dan lebih kondusif digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan sampel penelitian. Berdasarkan hal tersebut, diperoleh kelas XI. F4 sebagai kelas eksperimen yang akan diterapkan pembelajaran PjBL-STEM.

B. Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan *Weak Experimental Design* dengan desain penelitian yaitu *One Group Pretest-Posttest Design* (Fraenkel et al., 2012). Berikut desain penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Desain penelitian

Kelas	Pretes	Perlakuan	Postes
Kelas Eksperimen	O	X	O

Keterangan :

O : *observation* (pretes dan postes)

X : *treatment* (pembelajaran PjBL-STEM)

Sebelum diterapkan perlakuan, kelas eksperimen diberikan pretes terlebih dahulu (O). Setelah itu diberi perlakuan berupa pembelajaran PjBL-STEM (X). Lalu dilakukan postes (O) untuk melihat hasil belajar berdasarkan perlakuan yang telah diberikan.

C. Variabel Penelitian

Adapun variabel pada penelitian ini yaitu :

1. Variabel terikat pada penelitian ini adalah keterampilan pemecahan masalah siswa kelas XI.F4 SMAN 13 Bandar Lampung Tahun Ajaran 2024/2025.
2. Variabel bebas pada penelitian ini adalah model pembelajaran yang digunakan, yaitu pembelajaran PJBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi
3. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah materi yang dipelajari dan guru yang mengajar di kelas.

D. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data utama dan data pendukung. Data utama berupa hasil pretes dan postes keterampilan pemecahan masalah berupa keterampilan *identify problems and opportunities, define goals, explore possible strategies, anticipate outcomes and act*, dan *look back and learn*. Data pendukung berupa data hasil kinerja produk, data hasil kinerja produk berpikir, data hasil respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM, dan data hasil keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM yang diisi oleh observer. Sumber data dalam penelitian ini adalah seluruh siswa pada kelas eksperimen.

E. Instrumen Penelitian dan Validasi Instrumen

Adapun instrumen penelitian dan validasi instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Instrumen penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah soal pretes dan postes keterampilan pemecahan masalah, lembar kerja peserta didik (LKPD), lembar observasi penilaian kinerja produk, lembar observasi angket respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM, dan lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi. Instrumen penelitian secara spesifik dijelaskan, yaitu:

- a. Soal pretes dan postes keterampilan pemecahan masalah siswa yang terdiri dari 5 soal esai untuk mengukur keterampilan pemecahan masalah siswa. Dari 5 soal tersebut, 1 soal digunakan untuk mengukur keterampilan *identify problems and opportunities*, 1 soal digunakan untuk mengukur keterampilan *define goals*, 1 soal digunakan untuk mengukur keterampilan *explore possible strategies*, 1 soal digunakan untuk mengukur keterampilan *anticipate outcomes and act*, dan 1 soal digunakan untuk mengukur keterampilan *look back and learn*. Rubrik penskoran pretes dan postes dengan gradasi skor 3, 2, 1, dan 0.
- b. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD), digunakan untuk penilaian kinerja produk berpikir siswa dalam menyelesaikan masalah berupa jawaban tertulis selama kegiatan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi. Terdapat 14 item penilaian pada pertanyaan LKPD dan menggunakan rubrik penskoran tertinggi 3 dan terendah 1.
- c. Lembar penilaian kinerja produk, digunakan untuk penilaian terhadap hasil produk siswa selama pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi. Penilaian produk didasarkan pada beberapa aspek, yaitu nyala api dan warna nyala api yang dihasilkan dengan skor tertinggi 8 dan skor terendah 6.
- d. Angket respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM, digunakan untuk penilaian tanggapan siswa terhadap pelaksanaan pembelajaran PjBL-STEM. Angket respon siswa diukur menggunakan angket tertutup dengan pernyataan positif yang dilakukan dengan cara memberikan tanda *ceklist* (✓) pada setiap itemnya, terdiri dari 4 kategori penskoran, yaitu skor tertinggi 4 dengan

kategori penskoran sangat setuju, skor 3 dengan kategori setuju, skor 2 dengan kategori tidak setuju, dan skor 1 dengan kategori sangat tidak setuju.

- e. Lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM, digunakan untuk mengukur keterlaksanaan tahapan pembelajaran PjBL-STEM yang diisi oleh guru mata pelajaran kimia. Keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM diukur menggunakan angket tertutup dengan pernyataan positif yang dilakukan dengan cara memberikan tanda *ceklist* (✓) pada setiap itemnya, terdiri dari 4 kategori penskoran, yaitu skor tertinggi 4 dengan kategori penskoran sangat setuju, skor 3 dengan kategori penskoran setuju, skor 2 dengan kategori penskoran tidak setuju, dan skor 1 dengan kategori penskoran sangat tidak setuju.

2. Validitas instrumen

Instrumen yang digunakan harus divalidasi agar data yang diperoleh valid dan dapat dipercaya, serta instrumen dapat digunakan untuk mengumpulkan data. Validitas instrumen pada penelitian ini dilakukan dengan cara *judgment* oleh dosen pembimbing. Pengujian dilakukan dengan menguji kesesuaian antara indikator keterampilan pemecahan masalah dengan aspek yang akan diukur.

F. Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari lima tahap yaitu, observasi dan wawancara, menyusun instrumen penelitian, mengumpulkan data, menganalisis data, dan menyusun laporan. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Observasi

Pada tahap ini, dilakukan wawancara terhadap guru mata pelajaran kimia untuk mendapatkan informasi terkait kurikulum yang digunakan, metode dan pembelajaran yang digunakan, sarana dan prasarana pembelajaran, karakteristik peserta didik dan jadwal mata pelajaran kimia di kelas XI. Selain itu, dilakukan observasi bagaimana pembelajaran kimia berlangsung. Selanjutnya, berdiskusi dengan guru terkait jadwal pelaksanaan penelitian dan teknis yang akan dijalankan selama penelitian berlangsung. Setelah mendapatkan semua informasi yang dibutuhkan,

dengan rekomendasi guru ditentukan kelas yang akan dijadikan sampel penelitian.

2. Menyusun instrumen penelitian

Pada tahap ini peneliti merancang instrumen penelitian. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi soal pretes dan postes berupa soal uraian dan rubrik penskoran yang digunakan sebagai data kuantitatif keterampilan pemecahan masalah yang akan digunakan sebelum dan sesudah proses pembelajaran, LKPD PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dan rubrik penskoran, , lembar observasi penilaian kinerja produk, lembar observasi angket respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM dan lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi.

3. Mengumpulkan Data

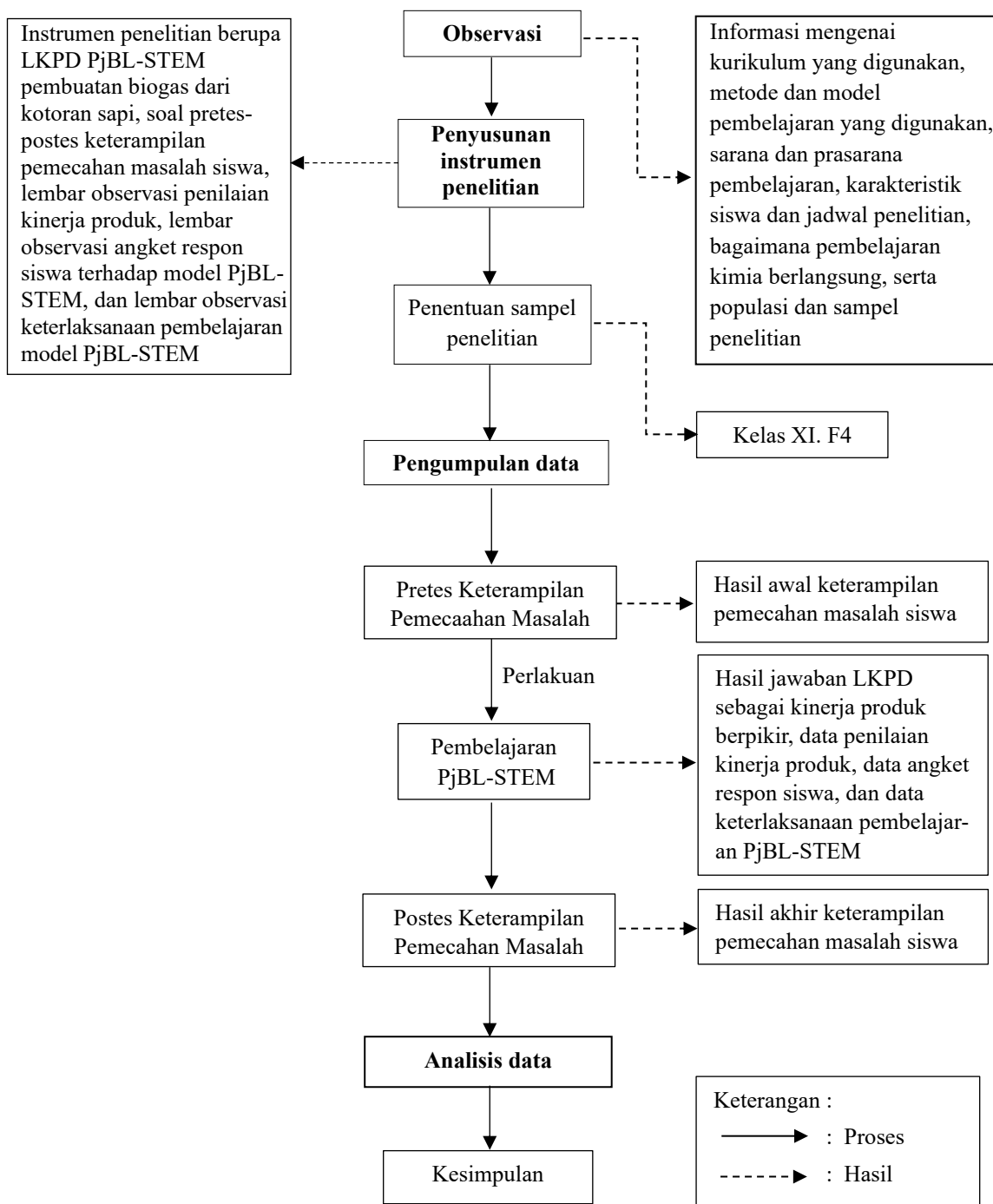
Pada tahap ini, pengumpulan data meliputi: (a) melakukan pretes untuk mengukur hasil awal keterampilan pemecahan masalah siswa ; (b) melakukan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dengan bantuan LKPD sebagai penilaian lembar kinerja produk berpikir siswa ; (c) melakukan penilaian kinerja produk siswa; (d) melakukan postes untuk mengukur hasil akhir keterampilan pemecahan masalah siswa ; (e) melakukan observasi angket respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM; dan (f) melakukan observasi keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM yang sudah diterapkan, diisi oleh guru mata pelajaran kimia.

4. Menganalisis Data

Pada tahap ini, yaitu menganalisis data utama dan data pendukung. Data utama berupa skor pretes dan skor postes keterampilan pemecahan masalah siswa. Skor tersebut kemudian dianalisis dengan uji perbedaan dua rata-rata menggunakan SPSS versi 26, serta di hitung nilai *n-gain*nya. Data pendukung berupa data kinerja produk siswa, data kinerja produk berpikir siswa, data angket respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM dan data keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi. Data pendukung ini dianalisis menggunakan *microsoft excel* 2016 berdasarkan persamaan yang sudah ada. Hasil analisis data ini menjadi dasar untuk menarik kesimpulan.

5. Menyusun Laporan

Pada tahap ini membuat laporan berupa tugas akhir yang dibuat oleh peneliti berisi hasil penelitian secara tertulis. Tahap ini merupakan tahap akhir dalam sebuah proses penelitian. Adapun langkah langkah penelitian tersebut dapat dilihat pada diagram alir yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

G. Teknik Analisis Data dan Pengujian Hipotesis

1. Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini adalah data kuantitatif. Analisis data ini bertujuan memberikan makna dari data kuantitatif yang telah didapatkan untuk menarik kesimpulan yang berkaitan dengan masalah, tujuan dan hipotesis dari penelitian ini. Dalam penelitian ini analisis data dilakukan terhadap data utama dan data pendukung.

a. Analisis data utama

Data utama yang diperoleh pada penelitian ini adalah skor tes keterampilan pemecahan masalah sebelum penerapan pembelajaran (pretes) dan skor tes keterampilan pemecahan masalah setelah penerapan pembelajaran (postes).

1) Mengolah data skor pretes dan postes

Data skor pretes dan postes siswa yang telah diperoleh kemudian dihitung rata-ratanya menggunakan rumus berikut:

$$\text{Skor rata-rata pretes/postes siswa} = \frac{\text{jumlah skor seluruh siswa}}{\text{jumlah seluruh siswa}}$$

Kemudian, rata rata skor pretes dan postes untuk setiap indikator dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Skor rata-rata indikator ke-}i = \frac{\text{jumlah skor soal untuk indikator ke-}i}{\text{jumlah seluruh siswa}}$$

2) Perhitungan *n-gain* masing-masing siswa

Untuk mengetahui peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa, maka dilakukan analisis *n-gain* yang diperoleh siswa dalam tes. Adapun analisis ini dihitung menggunakan rumus *n-gain* (Hake,1998) sebagai berikut:

$$n\text{-gain} = \frac{\text{skor postes} - \text{skor pretes}}{\text{skor maksimum} - \text{skor pretes}}$$

3) Perhitungan *n-gain* setiap indikator

Adapun perhitungan *n-gain* dari setiap indikator keterampilan pemecahan masalah dihitung menggunakan *Microsoft excel* 2016 dengan rumus berikut:

$$n\text{-gain indikator ke- (i)} = \frac{\text{skor postes (i)} - \text{skor pretes (i)}}{\text{skor maksimum} - \text{skor pretes (i)}}$$

4) Perhitungan *n-gain* rata rata.

Setelah diperoleh *n-gain* masing-masing siswa, selanjutnya menghitung *n-gain* rata-rata keterampilan pemecahan masalah siswa. Besarnya *n-gain* rata-rata dihitung menggunakan rumus berikut :

$$n\text{-gain rata-rata} = \frac{\sum n\text{-gain seluruh siswa}}{\text{jumlah seluruh siswa}}$$

Hasil perhitungan *n-gain* rata-rata kemudian diinterpretasikan dengan menggunakan kriteria dari (Hake, 1998). Kriteria pengklasifikasian *n-gain* menurut Hake (1998) dapat dilihat seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi *n-gain*

Besarnya <i>n-gain</i>	Interpretasi
$n\text{-gain} \geq 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq n\text{-gain} < 0,7$	Sedang
$n\text{-gain} < 0,3$	Rendah

b. Analisis data pendukung

Data pendukung yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kinerja produk, respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM dan tingkat keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM.

1) Analisis data kinerja produk

Indikator task yang diukur dalam kinerja produk adalah hasil produk (nyala api dan warna nyala api). Perhitungan skor produk yang diperoleh, dapat dihitung menggunakan rumus skor rata-rata produk dibawah ini:

$$\text{Rata rata skor} = \frac{\text{jumlah skor seluruh item}}{\text{jumlah item}}$$

2) Analisis data kinerja produk berpikir

Indikator task yang diukur dalam kinerja produk berpikir adalah jawaban LKPD siswa. Perolehan nilai tiap soal pada jawaban LKPD siswa adalah sebagai berikut :

$$\text{Nilai LKPD soal ke-i} = \frac{\sum \text{skor soal ke-i}}{\text{skor maksimal}} \times 100$$

3) Analisis data respon siswa

Pengolahan hasil angket respon siswa terhadap PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi menggunakan angket tertutup dengan pernyataan

positif, yang dilakukan dengan cara memberikan tanda tanda ceklis (✓) pada setiap kategori yang akan dipilih, pengkategorian pada angket respon siswa dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kategori respon siswa

Skor Penilaian	Kategori
4	Sangat Setuju (SS)
3	Setuju (S)
2	Tidak Setuju (TS)
1	Sangat Tidak Setuju (STS)

Adapun langkah-langkah analisis data respon siswa terhadap PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi sebagai berikut :

- a. Menghitung jumlah skor tiap item dari seluruh siswa
- b. Menghitung persentase skor rata-rata tiap item dengan rumus berikut:

$$\text{Persentase skor rata-rata tiap item} = \frac{\sum \text{skor siswa tiap item}}{n \times \text{skor maksimal}} \times 100\%$$

Keterangan :

n = Jumlah siswa

- c. Menghitung persentase skor rata-rata seluruh item dengan rumus berikut:

$$\% \text{ skor rata-rata seluruh item} = \frac{\sum \text{persentase skor rata-rata tiap item}}{\text{jumlah item}}$$

- d. Hasil perhitungan persentase skor rata-rata respon siswa seluruh item kemudian diinterpretasikan dengan menggunakan kriteria (Sugiyono, 2019) yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kriteria penskoran respon siswa

Interval skor rata-rata %	Kategori
81,25% - 100%	Sangat Baik
62,25% - 81,25%	Baik
43,75% - 62,5%	Kurang Baik
25% - 43,75%	Tidak Baik

4) Analisis data keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM

Keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi diukur melalui penilaian terhadap keterlaksanaan pembelajaran yang memuat tahapan-tahapan pembelajaran PjBL-STEM. Keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dibuat meng-

gunakan angket tertutup dengan pernyataan positif yang dilakukan dengan cara memberikan tanda ceklis (✓) pada setiap kategori yang akan dipilih, diukur menggunakan skala *likert* yang terdiri dari aspek penilai, setiap itemnya memiliki kategori kurang baik, cukup baik, baik, sangat baik. Adapun langkah-langkah terhadap keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi sebagai berikut:

- a) Menghitung jumlah skor yang diberikan oleh pengamat untuk setiap aspek pengamatan, kemudian dihitung persentase ketercapaian menurut Sudjana (2005) dengan rumus berikut :

$$\% J_i = \frac{\sum Ji}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

$\%J_i$: Persentase ketercapaian dari skor yang didapat untuk setiap aspek pengamatan

$\sum Ji$: Jumlah skor setiap aspek pengamatan yang diberikan oleh pengamat

N : Skor maksimal

- b) Menghitung persentase skor rata-rata ketercapaian untuk setiap aspek pengamatan
- c) Menafsirkan data keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM berdasarkan harga persentase ketercapaian pelaksanaan pembelajaran (Arikunto, 2002), seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria tingkat ketercapaian pelaksanaan pembelajaran

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

2. Pengujian Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan untuk mengetahui hipotesis yang diajukan diterima atau ditolak dan juga untuk mengetahui kesimpulan yang diperoleh di kelas penelitian dapat berlaku untuk populasi atau tidak. Dilakukan uji prasyarat terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian hipotesis terhadap skor rata-rata postes dan pretes keterampilan pemecahan masalah siswa, yaitu uji normalitas. Uji prasyarat ini

dilakukan untuk menentukan pada saat pengujian hipotesis menggunakan uji statistik parametrik atau nonparametrik.

a. uji normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah data dari sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dilakukan menggunakan uji *Shapiro wilk* karena jumlah sampel kurang dari 50 siswa, dengan taraf signifikansi 5% (Sugiyono, 2019). Uji ini *Shapiro wilk* ini menggunakan SPSS versi 26, dengan hipotesis uji sebagai berikut:

Hipotesis : H_0 : Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal

H_1 : Sampel berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal

Adapun dasar pengambilan keputusan uji ini adalah sebagai berikut:

- 1) Nilai signifikan $> 0,05$ maka H_0 diterima atau H_1 ditolak (sampel berdistribusi normal).
- 2) Nilai signifikan $< 0,05$ maka H_0 ditolak atau H_1 diterima (sampel tidak berdistribusi normal).

b. uji perbedaan dua rata-rata

Uji perbedaan dua rata-rata digunakan untuk mengetahui tingkat efektivitas pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi. Berdasarkan uji normalitas, diketahui bahwa sampel penelitian berasal dari populasi yang berdistribusi normal, maka uji perbedaan dua rata-rata dilakukan dengan menggunakan statistik parametrik, yaitu uji *Dependent sample t-test*. Pengujian ini dilakukan menggunakan SPSS versi 26.

Rumusan hipotesis untuk uji ini :

$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$: Skor rata-rata postes keterampilan pemecahan masalah siswa lebih kecil atau sama dengan skor rata-rata pretes keterampilan pemecahan masalah setelah diterapkan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi.

$H_1 : \mu_1 > \mu_2$: Skor rata-rata postes keterampilan pemecahan masalah siswa lebih besar dari skor rata-rata pretes keterampilan pemecahan masalah

setelah diterapkan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi.

Keterangan :

μ_1 = Skor rata-rata postes keterampilan pemecahan masalah siswa

μ_2 = Skor rata-rata pretes keterampilan pemecahan masalah siswa

Ketentuan kriteria uji ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai asymp sig. (2-tailed) $< 0,05$ maka H_0 ditolak H_1 diterima (terdapat perbedaan nilai yang signifikan)
2. Nilai asymp sig. (2-tailed) $> 0,05$ maka H_0 diterima H_1 ditolak (tidak terdapat perbedaan nilai yang signifikan) (Widiyanto, 2013).

Setelah didapatkan nilai t hitung, selanjutnya dibandingkan dengan nilai t tabel dengan tingkat signifikansi 95%. Kriteria pengambilan keputusan yaitu :

$t_{\text{tabel}} > t_{\text{hitung}}$: H_0 diterima atau H_1 ditolak

$t_{\text{tabel}} < t_{\text{hitung}}$: H_0 ditolak atau H_1 diterima

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan pada penelitian, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi efektif dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa. Hal ini berdasarkan perolehan skor rata-rata postes dan pretes keterampilan pemecahan masalah siswa berbeda secara signifikan. Artinya skor rata-rata postes keterampilan pemecahan masalah siswa lebih besar daripada skor rata-rata pretes keterampilan pemecahan masalah dan juga diperoleh *n-gain* rata-rata keterampilan pemecahan masalah siswa sebesar 0,52 yang berkategori sedang. Selain itu, keefektifan pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah juga didukung dengan data respon siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM sebesar 86,42% dengan kriteria sangat baik dan tingkat keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM sebesar 75,25% dengan kriteria tinggi. Kemudian skor rata-rata kinerja produk diperoleh sebesar 6,91 dari skor maksimal 8 menunjukkan bahwa keseluruhan produk biogas yang dihasilkan oleh setiap kelompok pada penelitian ini sudah baik.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan bahwa:

1. Bagi calon peneliti yang juga tertarik dengan penelitian menggunakan pembelajaran PjBL-STEM sebaiknya memperhatikan pemilihan waktu penelitian yang tepat agar pembelajaran terlaksana secara optimal, terutama pada tahap *research* dan *discovery*.
2. Bagi guru yang ingin menerapkan pembelajaran berbasis proyek sebaiknya lebih memberikan keleluasaan waktu bagi siswa untuk berkonsultasi agar siswa

dapat lebih mudah bertanya dalam memahami lembar kerja peserta didik.

3. Bagi siswa pada saat pembentukan kelompok proyek, sebaiknya memperhatikan jarak rumah antar anggota kelompok agar seluruh anggota kelompok dapat memantau proses fermentasi pembuatan biogas setiap harinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriana, J. 2022. Pengaruh PjBL STEM terhadap Literasi Sains dan Problem Solving Siswa SMP. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 6(2), 627-638.
- Amalliyah, N., Waluya, S. B., & Agoestanto, A. 2022. Student's Mathematical Problem Solving Abilities Based on Emotional Quotient (EQ). *ISET: International Conference on Science, Education and Technology*, 8(1), 797–803.
- 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.
- Arfiana, A., & Wijaya, A. 2018. Problem Solving Skill of Students of Senior High Schools and Islamic High Schools in Tegal Regency in Solving the Problem of PISA Based on Polya's stage. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 5(2), 211-222.
- Arikunto, S. 2002. *Metodologi Penelitian Suatu Pendekatan Proposal*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Arimbawa, P., Sadia, I. W., & Tika, I. N. 2013. Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Proyek (MPBP) Terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah IPA Sehari-hari Ditinjau dari Motivasi Berprestasi Siswa. *e-Journal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha*, 3(1), 12-17.
- Aulia, D. Z. 2023. *Pengaruh penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning Berbasis STEM Terhadap Keterampilan Proses Sains Siswa pada Materi Sistem Koloid*. Skripsi, Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Jambi : Universitas Jambi.
- Baran, M., Baran, M., Karakoyun, F., & Maskan, A. 2021. The Influence of Project-Based STEM (PjBL-STEM) Application on the Development of 21st-cCentury Skills. *Journal of Turkish Science Education*, 18(4), 798-815.
- 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.
- Barnett, J.A., Payne, R.W., & Yarrow, D. 2000. *Yeasts: Characteristics and Identifications*, 3rd Edition. Cambridge: Cambridge University Press.

- 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.
- Bransford, J., & Stein, B.S. 1984. *The ideal problem solver : a guide for improving thinking, learning, and creativity [ebook]*. New York : W. H. Freeman.
- Capraro, R. M., Capraro, M.M., & Morgan, J. 2013. *STEM Project-Based Learning: An integrated Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. Netherland : Sense Publishers.
- Colussi, I., Cortesi, A., Gallo, V., Rubesa, F. A. S., & Vitanza, R. 2012. Modelling of an anaerobic process producing biogas from winery wastes. *Chemical Engineering Transactions*, 27, 301 – 306.
- Dianti, S. A.T., Pamelasari, S. D., & Hardianti, R. D. 2023. Penerapan Pembelajaran Berbasis Proyek dengan Pendekatan STEM terhadap Peningkatan Kemampuan Literasi Sains Siswa. *Proceeding UNNES : Seminar Nasional IPA XIII*, 432-442.
- Fadliani, A. N., Lestari, D. D., Fatimah, M. S., & Mertha, I. G. 2019. Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik di Desa Mas-Mas Kecamatan Batukliang Utara Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal Warta Desa*, 1(1), 94-98.
- Fidela, W., Dini., Putri. D. N., Ayu, D., Sari, J. K., Regina., Berlian, T., Ningky, Y. P., Azzahra, Y., Febriano, Y., Zhafira., Ahda, Y. & Fajrina, S. 2024. Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan. *Jurnal Ekologi Masyarakat dan Sains*, 5(2), 186-192.
- Fitroh, U. N., Rusilowati, A., Darsono, T., Marwoto, P., & Naini, B. 2020. Analysis of Student Problem Solving Skills in Harmonic Motion Materials. *Physics Communication*, 4(2), 25-31.
- Fortus, D., Krajcik, J., Dersheimer, R. C., Marx, R. W., & Naaman, R. M. 2005. Design-Based Science and Real-World Problem solving. *International Journal of Science Education*, 2(7), 855-879.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. 2012. *How to Design and Evaluate Research In Education*. The McGraw-Hill Companies.
- Franestian, I. D., Suyanta., & Wiyono, A. 2020. Analysis problem solving skills of student in Junior High School. *Journal of Physics: Conference Series*, 1440, 1-5.
- Fuad, K., & Winarsih. 2021. Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik Untuk Peningkatan Ekonomi Masyarakat. *Jurnal Abdimas*, 7(4), 293-297.
- Gongden, E. J. 2016. The effects of analogy on male and female chemistry students' problem-solving ability in electrolysis. *International Journal of Scientific Research in Edu*, 9(1), 1-6.

- Hake, R. R. 1998. Interactive-engagement versus traditional methods: A sixthousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 67–74.
- Hamri., Husen, M., & Amrullah. 2023. Utilization of Cow Manure Using Biogas Technology to Fuel The Community in Pucak Village, Tompobulu District, Maros Regency. *Best Journal of Administration and Management (BEJAM)*, 1(4), 158-164.
- Haryati, T. 2006. Biogas: Limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif. *Jurnal Wartazoa*, 16(3), 160-169.
- Hickey, R. 2014, Project Based Learning: Where to start? Techniques: Connecting. *Education & Careers*, 89(2), 8-9.
- Indriyani, F., Nurcahyono, N. A., & Agustiani, N. 2018. Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa Berdasarkan Langkah Ideal Problem Solving. *PYTHAGORAS: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 7(2), 56–67.
- Irawan, D., & Suwanto, E. 2016. Pengaruh EM4 (Effective Microorganisme) Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Kotoran Sapi. *TURBO Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 5(1), 44–49.
- Jauhariyyah, F. R., Suwono, H., & Ibrohim. 2017. Science, Technology, Engineering and Mathematics Project Based Learning (STEM-PjBL) pada Pembelajaran Sains. *Prosiding Seminar Pendidikan IPA Pascasarjana UM*, 2, 432–436.
- JDIH Kemenko Kemaritiman & Investasi. 2022. *Perpres 111/2022: Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan*. Diakses dari : <https://jdih.maritim.go.id/perpres-no-111-tahun-2022>
- Junaidi, M. R., Rahma, A., Ayu, S., & Marcello, C. 2023. Pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik. *Jurnal Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 300-306.
- Karaman, N. 2021. Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi (Biogas) Rumah Tangga di Kabupaten Sampang Provinsi Jawa Timur. *Masyarakat Jurnal Teknik Pengabdian Mesin*, 1(1), 8-10.
- Kartini, F. S., Widodo, A., Winarno, N., & Astuti, L. 2021. Promoting Student's Problem-Solving Skills through STEM Project-Based Learning in Earth Layer and Disasters Topic. *Jurnal of Science Learning*, 4(3), 257-266.
- 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 Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka. *In Kemendikbudristek*.
- Kivunja, C. 2015. Exploring the pedagogical meaning and implications of the 4cs “super skills” for the 21st century through Bruner’s 5e lenses of knowledge

- construction to improve pedagogies of the new learning paradigm. *Creative Edu*, 6(2), 224-239.
- Kurniawati, I., Raharjo, T. J., & Khumaedi. 2019. Peningkatan Kemampuan Pemecahan Masalah untuk Mempersiapkan Generasi Unggul Menghadapi Tantangan Abad 21. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana UNNES*, 2(1), 702-707.
- Laboy-rush, D. 2010. *Integrated STEM Education Through Project-Based Learning*. learning. [Online]. Diakses dari: <https://www.learning.com/stem/whitepaper/integrated-STEM-throughProject-based-Learning>
- Lydiati, I. 2019. Enhancing the Creativity of Students in Statistics Materials through the PjBL-STEM Learning Model Class XII MIPA 6 SMA Negeri 7 Yogyakarta. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, 4(2), 51-60.
- Makuasa, D. A. A., Rahmawati, S., & Afadil. 2024. Development of a Chemistry Learning E-module Based on Project-based Learning with a STEM Approach to Improve Students Problem Solving and Communication Skills on Solubility and Solubility Product Material. *International Journal of Education, Humaniora, and Social Studies*, 1(1), 22-27.
- Mandani, S., & Ochonogor, C. 2018. Comparative effect of two problem solving instructional strategies on students achievement in stoichiometry. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(12), 1-9.
- Mariya, L., Djoa, D. D., Imawan, O. R., Ismail, R., Permana, R., Nurbaya., Susanto. E., Inayah, S., Sya'ban, M. F., Kusuma, A. E., Ningrum, D. C., & Yani, F. 2024. *Pembelajaran Berbasis Proyek di Perguruan Tinggi: Teori dan Praktik*. Jawa Barat: CV. Edupedia Publisher.
- Mefoh, P. C., Nwoke, M. B., Chukwuorji, J. C., & Chijioke, A. O. 2017. Effect of cognitive style and gender on adolescents' problem solving ability. *Thinking Skills and Creativity*, 25, 47-52.
- Muzana, S. R., Jumadi., Wilujeng, I., Yanto, B. E., & Mustamin, A. A. 2021. E-STEM Project-Based Learning in Teaching Science to Increase ICT Literacy and Problem Solving. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(4), 1386–1394.
- 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.
- Ningrum, T. L., Wahidin., & Diella, D. 2024. Improving Problem-Solving Ability and Collaboration Skills of Ecosystem Material Through STEM Integrated Project-Based Learning. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 9(1), 11-20.
- Nurwahyuningsih, N., Harjono, A., & Rahayu, S. 2019. Pemecahan Masalah Usaha Dan Energi Dengan Model Pembelajaran Berbasis Proyek Ditinjau

- Dari Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 5(2), 253-261.
- OECD. 2023. *Programme for international student assesment (PISA) results from PISA 2022*. OECD Publishing.
- Pinarahayu, E. 2017. Problematika Penerapan Model Pembelajaran Problem Solving pada Pelajaran Matematika SMP di Berebes. *Jurnal Penelitian Pendidikan Matematika*, 1(1), 77-85.
- Purwaningsih, E., Sari, S. P., Sari, A. M., & Suryadi, A. 2020. The Effect Of Stem-Pjbl And Discovery Learning On Improving Students' Problem-Solving Skills Of Impulse And Momentum Topic. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(4), 465–476.
- Prasetyo, B. R., & Rangkuti, C. 2015. Produksi gasbio menggunakan Limbah Sayuran. *Seminar Nasional Cendekiawan*, 3, 611–615.
- Ralph, R. A. 2015. Post Secondary Project-Based Learning in Science, Technology, Engineering and Mathematics. *Journal of Technology and Science Education*, 6(1), 26–35.
- Rasyid, A., Rinto, R., & Susanti, M. 2023. Project-Based Learning through the STEM Approach in Elementary Schools: How to Improve Problem-Solving Ability. *Journal Of Education For Sustainable Innovation*, 1(1), 1-8.
- Roslina., Liliawati, W., & Lilik, H. 2023. Project Based Learning With Stem On Alternative Energy Materials To Improve Problem Solving Skills In High Schools. *Jurnal Phenomenon*, 13(2), 145-156.
- Saha, B. C., Qureshi, N., Kennedy, G. J., & Cotta, M. A. 2016. Biological Pretreatment of Cornstover with White-rot Fungus for Improved Enzymatic Hydrolysis. *International Biodegradation & Biodeterioration*, 109, 29-35.
- Salim, I., & Kafiar, F. 2017. Pembuatan alat penghasil biogas sederhana di Kampung Hawai Kabupaten Jayapura. *Jurnal Pengabdian Papua*, 1(2), 41-46.
- Samosir, G. R. A., & Merry, M. M. 2021. Analisis Pendahuluan Pemanfaatan Konsorsium Bakteri Termofilik dari Kotoran sapi Untuk Produksi Biogas. *Journal of Applied Technology and Informatics Indonesia*, 1(1), 1-5.
- Saptaji, R. F. 2024. *Penerapan Model Project Based Learning dengan Pendekatan STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa SMP Pada Topik Perubahan Iklim*. Skripsi, Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.
- Seyhan, G. H. 2015. The effects of Problem Solving Applications on the Development of Science Process Skills, Logical Thinking Skills and Perception on Problem Solving Ability in the Science Laboratory. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 16(2), 1-31.

- Simamora, S., Salundik, Sri, W., & Surajudin. 2006. *Membuat Biogas; Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas dari Kotoran Ternak*. Jakarta: Agro Media.
- Smal, T., & Wieprow, J. 2023. Energy Security in the Context of Global Energy Crisis: Economic and Financial Conditions. *Energies*, 16(4), 1605.
- Stohlmann, M., Moore, T. J., & Roehrig, G. H. 2012. Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 2(1), 4.
- Subekti, A. O. 2024. *Keefektifan Model Pembelajaran Project Based Learning (PjBL) dengan Pendekatan STEM terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah dan Keterampilan Kolaborasi IPA Siswa SMP*. Skripsi, Program Studi Pendidikan IPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Magelang : Universitas Tidar.
- Sudjana. 2005. *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito.
- Sugiyono. 2019. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Bandung: Alfabet.
- Sujarwanto, E., Hidayat, A., & Wartono. 2014. Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika Pada Modeling Instruction Pada Siswa SMA Kelas XI. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 3(1), 65-78.
- Suliartini, N. W. S., Ismayanti, J., Khairina., Sintamu, M. A. W., & Alvin, Z. 2024. Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik Kompos dengan Metode Fermentasi EM4 di Desa Batu Kumbung. *Jurnal Gema Ngabdi*, 6(1), 47-53.
- Susiana, E. 2010. IDEAL Problem Solving dalam Pembelajaran Matematika. *Kreano Jurnal Matematika Kreatif-Inovatif*, 1(2), 73-83.
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., & Chen, W. P. 2013. Attitudes Towards Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) in a Project-Based Learning (PjBL) Environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87-102.
- 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.
- Utami, M. A., & Pramelani. 2024. Pembangunan Berkelanjutan Pengembangan Energi Biogas di Kota Batu (Interpretasi Appropriate Communication for Development of Communities). *MEDIALOG : Jurnal Ilmu Komunikasi*, 7(1), 21-36.
- Wahyuni, S. 2011. *Biogas Energi Terbarukan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan*. Jakarta : Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional.
- Wahyuni, S. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. Jakarta Timur: Penebar Swadaya Grup.

- Wang, J. H., Liang, C., Chang, C. C., & Yao, S. N. 2015. The Contribution Of Self Efficacy To The Relationship Between Personality Traits And Entrepreneurial Intention. *Higher Education*, 72(2), 209-224.
- Widiyanto, A. M. 2013. *Statistika Terapan*. Jakarta: PT. Elex Media.
- Yanti, A. P., & Syazali, M. 2016. Analisis Proses Berpikir Siswa dalam Memecahkan Masalah Matematika Berdasarkan Langkah-Langkah Bransford dan Stein Ditinjau dari Adversity Quotient. *Al-Jabar: Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(1), 63–74.
- Yonathan, A., Prasetya, A. R., & Pramudono, B. 2013. Produksi Biogas Dari Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) : Kajian Konsistensi dan pH Terhadap Biogas Dihasilkan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), 211–215.