

**EFEKTIVITAS PjBL-STEM PEMBUATAN BIOGAS DARI KOTORAN  
SAPI DALAM MENINGKATKAN KETERAMPILAN  
BERPIKIR SISTEM SISWA SMA**

**(Skripsi)**

**Oleh  
Muhamad Amri Rosyid  
NPM 2113023049**



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

**2025**

## ABSTRAK

### EFEKTIVITAS PjBL-STEM PEMBUATAN BIOGAS DARI KOTORAN SAPI DALAM MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR SISTEM SISWA SMA

Oleh

**Muhamad Amri Rosyid**

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan keefektifan Model PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa SMA. Metode dalam penelitian ini menggunakan *Weak experimental* dengan *one group presttest-posttest Design*. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa XI. F SMA N 13 Bandar Lampung semester genap Tahun Ajar 2024/2025 berjumlah 142 siswa. Sampel penelitian ini adalah kelas XI. F 4 yang diambil dengan teknik *purposive sampling*. Instrumen yang digunakan yaitu soal pretes dan postes keterampilan berpikir sistem. Analisis data yang digunakan uji perbedaan dua rata-rata menggunakan uji *Dependent sample t-test*. Hasil penelitian menunjukkan nilai pretes dan postes siswa. Nilai rata-rata postes keterampilan berpikir sistem siswa kelas XI. F 4 lebih besar dibanding nilai rata-rata pretes. *n-gain* rata-rata keterampilan berpikir sistem siswa yang diperoleh kelas XI. F 4 sebesar 0,71 berkategori tinggi. Rata-rata persentase angket respon siswa yang diperoleh kelas XI F 4 sebesar 86,4% kategori sangat baik. Rata-rata persentase keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM yang diperoleh kelas XI. F 4 sebesar 75,25% kriteria tinggi. Produk yang dihasilkan pada PjBL-STEM yaitu biogas dengan kategori baik. Berdasarkan uji perbedaan dua rata-rata menunjukkan bahwa model PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi efektif meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa.

**Kata Kunci:** Keterampilan berpikir sistem, kotoran sapi, PjBl-STEM

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECTIVENESS OF STEM-BASAD PROJECT BASED LEARNING (PjBL) ON BIOGAS PRODUCTION FROM COW MANURE IN ENHANCING HIGH SCHOOL STUDENTS' SYSTEMS THINKING SKILLS**

**By**

**Muhamad Amri Rosyid**

This study aims to describe the effectiveness of the PjBL-STEM model in producing biogas from cow manure to improve the system thinking skills of high school students. The research method used is a weak experimental design with a one-group pretest-posttest design. The population of this study consisted of all students in class XI.F at SMA N 13 Bandar Lampung in the even semester of the 2024/2025 academic year, totaling 142 students. The research sample was class XI. F4, selected using purposive sampling techniques. The instruments used were pretest and posttest questions on system thinking skills. The data were analyzed using the dependent sample t-test to examine the difference between the two means. The results showed that the posttest scores of students were higher than the pretest scores. The average normalized gain (n-gain) of system thinking skills in class XI. F4 was 0.71, which is categorized as high. The average percentage of students' responses obtained from questionnaires was 86.4%, categorized as very good. The average percentage of PjBL-STEM implementation in class XI. F4 was 75.25%, which falls under the high criteria. The product generated through the PjBL-STEM activity was biogas, which was categorized as good. Based on the results of the difference test between the two means, it can be concluded that the PjBL-STEM model for producing biogas from cow manure is effective in improving students' system thinking skills.

**Keywords:** System thinking skills, cow manure, PjBL-STEM.

**EFEKTIVITAS PjBL-STEM PEMBUATAN BIOGAS DARI KOTORAN  
SAPI DALAM MENINGKATKAN KETERAMPILAN  
BERPIKIR SISTEM SISWA SMA**

**Oleh**

**Muhamad Amri Rosyid**

**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  
BEPIKIR SISTEM SISWA SMA**

Nama Mahasiswa : Muhamad Amri Rosyid

Nomor Pokok Mahasiswa : 2113023049

Program Studi : Pendidikan Kimia

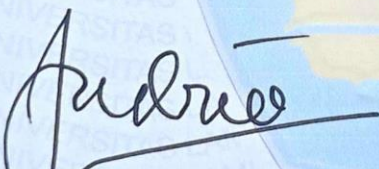
Jurusan : Pendidikan MIPA

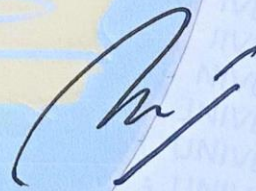
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan



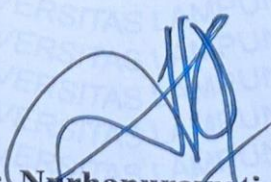
**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

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

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

2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA

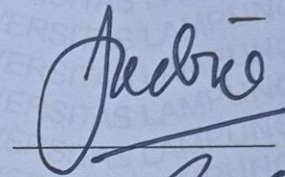
  
**Dr. Nurhanurawati, M. Pd.**  
NIP 19670808 199103 2 001



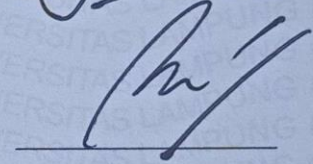
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

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

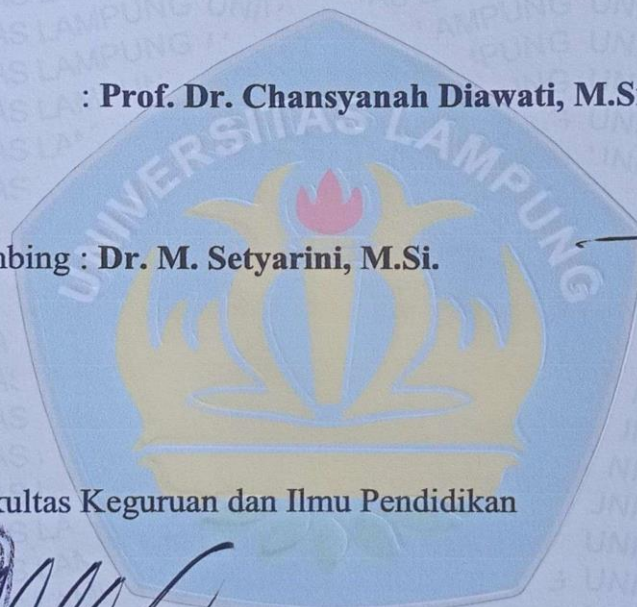
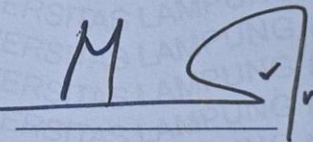


Sekretaris : **Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si.**

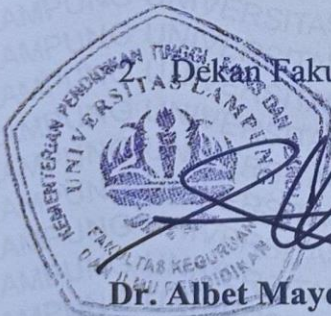


Penguji

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



2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



**Dr. Albet Maydiantoro, M. Pd**

NIP 19870504 201404 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **19 Juni 2025**

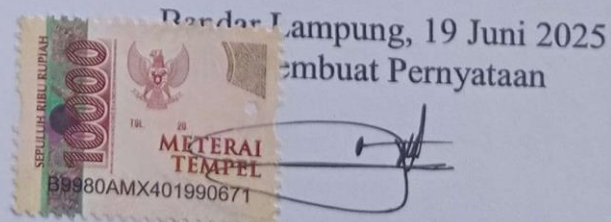


## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhamad Amri Rosyid  
Nomor induk mahasiswa : 2113023049  
Program studi : Pendidikan kimia  
Jurusan : Pendidikan MIPA  
Judul Skripsi : Efektivitas PjBL-STEM Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi Dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Sistem Siswa SMA

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila ternyata kelak dikemudian hari terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bertanggung jawab sepenuhnya.



Muhamad Amri Rosyid  
NPM 2113023049

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sukamulya pada 16 Mei 2001, Anak kedua dari dua bersaudara, anak dari bapak Tunut dan Ibu Kiptiyah. Penulis mengawali Pendidikan di sekolah Dasar Negeri 1 Srirahayu, kec. Banyumas, Kab. Pringsewu (2008-2013), dilanjutkan ke sekolah Madrasah Tsanwiyah Negeri 2 Pringsewu (2013-2016), dan dilanjutkan ke sekolah menengah atas SMA N 2 Pringsewu (2016-2020), pada tahun 2021 diterima di Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa penulis bergerak aktif di forum silaturahmi mahasiswa kimia (Fosmaki). Pengalaman mengajar dan mengabdikan yang pernah diikuti selama perkuliahan yaitu PLP (Pengenal Lapangan Persekolahan) yang terintegrasi dengan kuliah kerja nyata (KKN) di SMP N 2 Sidomulyo Lampung Selatan.



## **PERSEMBAHAN**

*Bismillahirrohmanirrohim*

Dengan rahmat allah yang maha pengasih lagi maha penyayang, Alhamdulillah atas karunia-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Dengan mengharapkan ridho-Mu, ku persembahkan skripsi ini kepada:

### **Kepada bapak dan ibuku**

Kedua orangtuaku ayah Tunut dan Ibu Kipitiah. Tersayang dengan segala pengorbanan, nasehat, ketulusan doa serta keridhoan ibu dan ayah dalam membimbing putra ini untuk terus semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga skripsi ini sebagai salah satu wujud baktiku dan ungkapan rasa kasih sayang yang tak terhingga.

### **Kakaku Mubtadimah dan Suami**

Yang selalu menantikan keberhasilan penulis, terima kasih atas persaudaraan selama ini semoga kita dapat membahagiakan kedua orang tua

**Almamater Tercinta Universitas Lampung**

## **MOTO**

*Ilmu adalah warisan terbesar dan pengetahuan adalah kekayaan yang tidak pernah habis*

**(Al Khawarizimi)**

*Rugi bukan perkara harta tetapi soal mimpi*

**(Nurul Qomar)**

## SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan ridha-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan.

Penulis menyadari adanya keterbatasan kemampuan dan pengetahuan sehingga dengan adanya bimbingan, bantuan dan arahan dari berbagai pihak skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih 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 Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;
3. Ibu Dr. M. Setyarini, M. Si., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan kimia dan pembahas atas masukan saran dan kritik dalam proses perbaikan serta penyelesaian skripsi ini;
4. Ibu Dr. Noor Fadiawati, M.Si. selaku Pembimbing I dan Dosen Pembimbing Akademik, atas kesediaan, keikhlasan, dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses perbaikan serta penyelesaian skripsi ini;
5. Ibu Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si., selaku Pembimbing II, atas kesediaan, keikhlasan, dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses perbaikan serta penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak dan Ibu Dosen serta Staf Jurusan Pendidikan MIPA, terkhusus di Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Lampung Atas Ilmu dan bantuan yang telah diberikan;



7. Bapak Febriansah, S.Pd., M.Pd. selaku kepala sekolah SMA Negeri 13 Bandar Lampung dan Ibu Eka Apriawati, S.Pd., M.Si. selaku guru matapelajaran kimia atas bantuaun dan kerjasamanya selama penelitian berlangsung
8. Teman-teman seperjuanganku di Pendidikan Kimia 2021 yang telah banyak membantu dan memberi semangat selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung;
9. Putriana Nurlaili yang telah memberikan semangat dan suport dengan ihklas dan tulus selama penyelesaian skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Bandarlampung, 19 Juni 2025

Penulis

Muhamd Amri Rosyid

## DAFTAR ISI

|                                                                      | Halaman    |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                            | <b>xv</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                            | <b>xvi</b> |
| <b>I. PENDAHULUAN .....</b>                                          | <b>1</b>   |
| A. Latar Belakang .....                                              | 1          |
| B. Rumusan Masalah.....                                              | 4          |
| C. Tujuan Penelitian .....                                           | 4          |
| D. Manfaat Penelitian .....                                          | 4          |
| E. Ruang Lingkup.....                                                | 5          |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                     | <b>6</b>   |
| A. Model Pembelajaran <i>Project Based Learning</i> (PjBL)-STEM..... | 6          |
| B. Keterampilan berpikir sistem .....                                | 8          |
| C. Biogas.....                                                       | 10         |
| D. Kotoran Sapi.....                                                 | 12         |
| E. Penelitian Relefan .....                                          | 13         |
| F. Pemecahan masalah.....                                            | 15         |
| G. Pembuatan biogas .....                                            | 16         |
| H. Kerangka Pemikiran .....                                          | 17         |
| I. Hipotesis Penelitian .....                                        | 18         |
| <b>III. METODE PENELITIAN.....</b>                                   | <b>20</b>  |
| A. Populasi dan Sampel.....                                          | 20         |
| B. Jenis dan Sumber Data .....                                       | 20         |
| C. Desain Penelitian .....                                           | 21         |
| D. Variabel Penelitian.....                                          | 21         |

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| E. Instrumen peneltiain dan Validitas instrumen .....                                                  | 21        |
| F. Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....                                                               | 23        |
| G. Teknik Analisis Data dan Pengujian Hipotesis.....                                                   | 24        |
| <b>IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>                                                        | <b>31</b> |
| A. Hasil Peneliatian .....                                                                             | 31        |
| B. Pembahasan .....                                                                                    | 38        |
| <b>V. KESIMPULAN.....</b>                                                                              | <b>50</b> |
| A. Kesimpulan .....                                                                                    | 50        |
| B. Saran .....                                                                                         | 50        |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                                                   | <b>60</b> |
| 1. Daftar pretes, postes, dan n-gain keterampilan berpikir sistem siswa .....                          | 61        |
| 2. Rekapitulasi Uji statistik pretes dan postes dan n-gain siswa<br>keterampilan berpikir sistem ..... | 65        |
| 3. Hasil output SPSS .....                                                                             | 68        |
| 4. Rekapitulasi hasil kinerja produk siswa.....                                                        | 70        |
| 5. Rekapitulasi hasil kinerja produk berpikir.....                                                     | 71        |
| 6. Angket Respon Siswa.....                                                                            | 73        |
| 7. Rekapitulasi keterlaksanaan PjBL-STEM .....                                                         | 74        |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                       | Halaman |
|-------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Delapan karakteristik hierarkis berpikir sistem .....    | 9       |
| 2. Penelitian relevan.....                                  | 13      |
| 3. Desain penelitian One Group Pretest-Posttest Design..... | 21      |
| 4. Klasifikasi n-gain .....                                 | 25      |
| 5. Kategori respon siswa .....                              | 27      |
| 6. Kriteria penskoran respon siswa .....                    | 27      |
| 7. Kriteria tingkat ketercapaian pelaksanaan .....          | 28      |
| 8. Uji normalitas.....                                      | 33      |
| 9. Uji perbedaan dua rata-rata .....                        | 34      |
| 10. Kinerja produk pembuatan biogas .....                   | 35      |
| 11. Respon siswa terhadap pembelajaran .....                | 36      |
| 12. Rekapitulasi nilai kinerja produk berpikir siswa.....   | 38      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                      | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Integrasi Model PjBL dan STEM .....                                      | 7       |
| 2. Reaksi pembentukan biogas (Haryati ,2006) .....                          | 11      |
| 3. Kerangka pemecahan masalah .....                                         | 15      |
| 4. Kerangka pemikiran .....                                                 | 19      |
| 5. Bagan prosedur penelitian .....                                          | 26      |
| 6. Skor rata-rata pretes dan postes keterampilan berpikir sistem .....      | 31      |
| 7. Skor rata-rata pretes-postes pada setiap indikator berpikir sistem ..... | 32      |
| 8. n-gain siswa pada setiap indikator keterampilan berpikir sistem .....    | 33      |
| 9. Salah satu jawaban siswa yang di tuliskan sebelum konsultasi .....       | 39      |
| 10. Jawaban yang dituliskan siswa setelah konsultasi .....                  | 40      |
| 11. Jawaban siswa sebelum konsultasi .....                                  | 40      |
| 12. Jawaban yang ditulis setelah konsultasi .....                           | 41      |
| 13. Salah satu jawaban yang ditulis sebelum konsultasi .....                | 42      |
| 14. Jawaban yang ditulis setelah konsultasi .....                           | 42      |
| 15. Jawaban yang ditulis sebelum konsultasi .....                           | 43      |
| 16. Jawaban yang ditulis setelah konsultasi .....                           | 43      |
| 17. Jawaban yang ditulis setelah konsultasi .....                           | 44      |
| 18. Jawaban yang ditulis setelah konsultasi .....                           | 44      |
| 19. Jawaban siswa sebelum konsultasi .....                                  | 45      |
| 20. Jawaban siswa setelah konsultasi .....                                  | 46      |
| 21. Siswa melakukan pembuatan biogas dari kotoran sapi .....                | 47      |
| 22. Siswa melakukan presentasi .....                                        | 48      |



## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Keterampilan berpikir sistem merupakan pendekatan holistik yang menganalisa fenomena menyeluruh yang saling berinteraksi satu sama lain, serta berfokus pada hubungan timbal balik yang dinamis antara komponen dan pola perilaku yang muncul dari hubungan timbal balik tersebut (York, et al., 2019; Jacobson, et al., 2006). Berpikir sistem juga mengarahkan siswa pada kemampuan mengenali komponen penyusun sistem, mengenali hubungan antar komponen, mengidentifikasi tujuan sistem, (Hidayatno, 2013; Evagorou 2009). Keterampilan berpikir sistem penting dimiliki siswa, karena siswa akan mampu menyelesaikan masalah dengan efektif, memahami tingkatan atau struktur dari berbagai konsep, dan melihat keterkaitan antara konsep satu dengan konsep lainnya dalam materi pembelajaran (Gilberta, 2018; Schuler, et al., 2017).

Di Indonesia, keterampilan berpikir sistem masih rendah. Hasil survei *Program for International Student Assessment (PISA) 2022* yang dirilis oleh *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)* menunjukkan bahwa Indonesia berada di peringkat ke-68 dari 81 negara. Peringkat ini menempatkan Indonesia dalam kategori *low performance* (OECD, 2023). Rendahnya peringkat ini disebabkan karena pada soal-soal (HOTS) PISA tersebut dibutuhkan keterampilan berpikir sistem untuk menyelesaikannya (Nuraeni, et al., 2020; Zohler, et al., 2012). Data ini didukung oleh beberapa hasil penelitian yang mengungkapkan rendahnya keterampilan berpikir sistem siswa di Indonesia (Lailiyah & Suliyanah, 2018).

Hal ini didukung oleh hasil observasi di SMA Negeri 13 Bandar Lampung, dimana pembelajaran masih cenderung berpusat pada guru atau *teacher-center*. Guru lebih fokus mengajarkan kurikulum secara terstruktur, sehingga siswa tidak terlatih dalam menyelesaikan masalah yang dihadapi dalam mata pelajaran. Pada kimia kelas XI fase F ada beberapa capaian pembelajaran salah satunya itu siswa diharapkan mampu memahami konsep kimia dalam makhluk hidup, seperti reaksi mikroorganisme membentuk biogas, pemahaman terhadap proses ini menuntut keterampilan berpikir sistem, karena siswa perlu mengaitkan berbagai komponen dan tahapan reaksi, mulai dari peran mikroorganisme, kondisi lingkungan, hingga hasil akhir berupa biogas.

Akibatnya, siswa kesulitan menghubungkan satu konsep dengan konsep lainnya dalam pembelajaran, dan keterampilan berpikir sistem dalam membangun pengetahuan belum berkembang secara optimal. Keterampilan berpikir sistem ini dapat ditingkatkan di sekolah dengan melibatkan siswa dalam permasalahan nyata yang kompleks dan bervariasi. Melalui pendekatan ini, siswa tidak hanya terpaku pada satu metode pemecahan masalah, tetapi juga dilatih untuk mengembangkan kemampuan dalam memahami hubungan antar berbagai konsep serta mampu menyelesaikan masalah dalam kehidupan sehari-hari (Johariah, et al., 2023).

Salah satu masalah utama yang dihadapi dalam kehidupan sehari-hari adalah kelangkaan energi (Nurhilal & Lesmana, 2020; Sudarti, 2022). Sebagai solusi yang berkelanjutan terhadap kelangkaan energi, pengembangan energi terbarukan menjadi pilihan yang tepat. Energi terbarukan memiliki keunggulan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, ekonomis, serta dapat diterapkan di lingkungan rumah tangga (Santoso et al., 2020). Hal ini sejalan dengan tujuan dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang mencakup aspek keberlanjutan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengembangkan energi terbarukan adalah pembuatan biogas (Holik, et al., 2020; Suharno, et al., 2023; Usman, et al., 2020).

Kelangkaan energi dan penerapan energi alternatif dalam kehidupan sehari-hari perlu ditanamkan sejak dini (Damayanti, et al., 2021). Dengan menerapkan

proses pembuatan biogas dari kotoran sapi, siswa diharapkan mampu mengenali elemen-elemen utama yang terlibat dalam proses tersebut. Untuk mencapai keberhasilan dalam pembuatan biogas, siswa juga akan memahami bagaimana setiap komponen saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain. Selain itu, dalam upaya menghasilkan produk biogas yang efisien, pemahaman siswa terkait penyesuaian pH, pengaturan suhu, serta komposisi bahan yang tepat menjadi faktor penting untuk meningkatkan produktivitas biogas secara optimal. Dengan menerapkan proses pembelajaran tersebut peserta didik dapat mengetahui masalah yang saling berhubungan antar komponen dalam proses pembelajaran dan mencari strategi untuk menyelesaikan masalah pembelajaran sehingga meningkatkan kualitas proses pembelajaran (Casnas, et al., 2022). Salah satu model pembelajaran yang sesuai adalah PjBL-STEM merupakan suatu model pembelajaran yang menekankan pada proses mendesain sampai proses menghasilkan produk (Erlinawati, et al., 2019).

PjBL-STEM mampu mendorong siswa untuk merepresentasikan siswa untuk bersikap secara ilmiah melalui proyek nyata yang melibatkan sains, teknologi, teknik, dan matematika, yang tidak hanya meningkatkan pemahaman mereka terhadap konsep-konsep STEM tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan sistem (Putri, et al., 2020; Astuti, et al., 2019). Selain itu model pembelajaran PjBL-STEM terbukti tidak hanya mampu meningkatkan pemahaman mereka terhadap konsep-konsep pembelajaran tetapi juga meningkatkan kemampuan berpikir sistem siswa (Nurdian, et al., 2021; Kurniahtunnisa, et al., 2023). Dengan menerapkan model pembelajaran PjBL-STEM, diharapkan keterampilan berpikir sistem siswa akan meningkat. Beberapa penelitian yang relevan, menyatakan penerapan model pembelajaran PjBL-STEM dapat meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa (Dzulkarnain, et al., 2019); Aini, et al., 2022; Astri, et al., 2022).

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dilakukan penelitian tentang “Efektivitas PjBL-STEM Pembuatan Biogas dari Limbah Kotoran Sapi Dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Sistem Siswa SMA”. Penelitian dapat bermanfaat

bagi peningkatan kualitas pendidikan di Indonesia khususnya dalam peningkatan keterampilan berpikir sistem siswa.

### **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana efektivitas model pembelajaran *Project-Based Learning* berbasis *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (PjBL-STEM) dalam proses pembuatan biogas dari kotoran sapi terhadap peningkatan keterampilan berpikir sistem pada siswa Sekolah Menengah Atas (SMA).

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini untuk mendeskripsikan efektivitas PjBL-STEM pemanfaatan kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa SMA.

### **D. Manfaat Penelitian**

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

#### **1. Bagi siswa**

Memberikan pembelajaran menggunakan PjBL-STEM secara langsung kepada siswa untuk melatih keterampilan berpikir sistem dalam mengatasi masalah kelangkaan energi melalui biogas dari kotoran sapi, serta melatih sikap menghargai akan kelangkaan energi supaya lebih bijak dalam menggunakan sumberdaya energi yang ada.

#### **2. Bagi guru**

Penerapan model pembelajaran PjBL-STEM dapat dijadikan pilihan bagi guru dan calon guru untuk melatih keterampilan berpikir sistem dan mendorong perubahan kegiatan pembelajaran kimia yang inovatif dan terbentuknya sikap siswa akan kelangkaan energi supaya lebih bijak dalam penggunaannya.

#### **3. Bagi sekolah**

Sebagai masukan bagi sekolah dalam mengembangkan kurikulum yang sedang diterapkan

4. Bagi peneliti lain

Sebagai sumber referensi bagi peneliti lain untuk melakukan penelitian yang berkaitan dengan model PjBL-STEM dalam meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa.

### E. Ruang Lingkup

Agar penelitian ini terhindar dari kesalahpahaman, maka ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Indikator berpikir sistem yang dipakai yaitu pada penelitian ini berdasarkan *framework* Ben-Zvi dan Orin, (2010).
2. Penelitian ini menggunakan model PjBL -STEM yang terintegrasi berdasarkan *framework* Laboy-Rush, (2010).
3. Model PjBL-STEM dikatakan efektif meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa apabila terdapat perbedaan yang signifikan antara skor rata-rata *posttest* dan *pretest* serta hasil *n-gain* rata-rata berkategori minimal sedang.
4. Permasalahan di kehidupan sehari-hari yang digunakan dalam pembelajaran *Project Based Learning* berbasis STEM pada penelitian ini adalah pengolahan limbah kotoran sapi menjadi biogas.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Model Pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL)-STEM

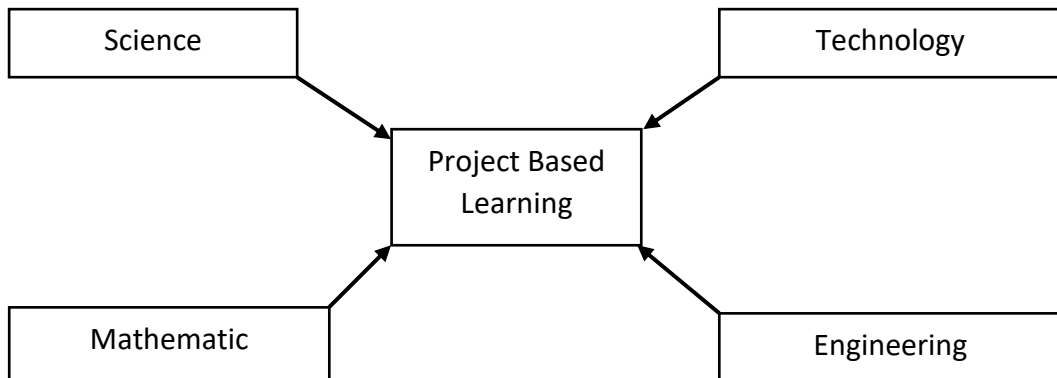
Model Pembelajaran Berbasis Proyek (PJBL) yang mengadopsi pendekatan STEM adalah metode pembelajaran yang melibatkan siswa bekerja dalam kelompok untuk menyelesaikan proyek yang mengintegrasikan ilmu pengetahuan, teknologi, rekayasa, dan matematika (Ma'sumah & Mitarlis 2021). Model ini memberikan kesempatan bagi siswa secara aktif mengeksplorasi pengalaman nyata serta menemukan solusi untuk mengatasi masalah kehidupan, sekaligus mengembangkan kemampuan berpikir kreatif (Fitriyani, et al., 2020).

PJBL dan STEM memiliki kelebihan serta kekurangan yang saling melengkapi. Dalam PJBL, siswa memahami konsep melalui pembuatan produk, sementara pembelajaran STEM menekankan pada proses perancangan dan pengembangan ulang (engineering design process) untuk menghasilkan produk yang optimal (Elva dan Irawati, 2021). PJBL-STEM memiliki karakteristik utama yang menitikberatkan pada proses desain, yaitu pendekatan yang dilakukan secara sistematis untuk merancang dan mengembangkan solusi terhadap suatu masalah dengan hasil yang terukur dan jelas (Capraro, et al., 2013).

Dalam penerapan strategi PJBL-STEM, siswa secara langsung dihadapkan pada sebuah proyek. Proyek ini mendorong siswa untuk menghubungkan setiap komponen dari STEM (sains, teknologi, teknik, dan matematika) guna mendukung keberhasilan penyelesaian proyek tersebut. Dengan strategi ini, kreativitas siswa dalam memecahkan masalah dapat berkembang secara optimal. Gambar 1, menunjukkan bahwa, STEM dalam PjBL merupakan pendekatan yang menintegrasikan



empat disiplin ilmu STEM dengan PjBL. Pembelajaran STEAM bertujuan agar peserta didik memiliki literasi sains dan teknologi yang terlihat mampu mengembangkan kompetensi yang telah dimilikinya dan diterapkan dalam menghadapi masalah dalam kehidupan sehari-hari (Bybee, 2013).



Gambar 1. Integrasi Model PjBL dan STEM

Untuk membuat siswa maksimal dalam proses pembelajaran maka Mengabungkan STEM dengan PjBL, karena PjBL-STEM menekankan pada perancangan dan pengembangan suatu proyek yang mengharuskan siswa menjalani setiap proses dari STEM itu sendiri (Samsudin, et al., 2020). Proses pembelajaran PjBL-STEM dalam membimbing peserta didik terdiri dari lima langkah, setiap langkah bertujuan untuk mencapai proses secara spesifik. Berikut ini tahapan dalam proses pembelajaran PjBL-STEM yang efektif (Laboy & Rush, 2010). Dengan setiap tahapan memiliki tujuan spesifik untuk membimbing peserta didik secara sistematis, PjBL-STEM memiliki 5 tahapan pembelajaran.

*Reflection* Tujuan dari tahap pertama untuk membawa peserta didik ke dalam konteks masalah dan memberikan inspirasi kepada peserta didik agar dapat segera mulai menyelidiki/investigasi. Fase ini juga dimaksudkan untuk menghubungkan apa yang diketahui dan apa yang perlu dipelajari.

*Research* Tahap kedua adalah bentuk penelitian peserta didik. Pendidik memberikan pembelajaran sains, memilih bacaan, atau metode lain untuk mengumpulkan sumber informasi yang relevan. Proses belajar lebih banyak terjadi selama tahap ini, kemajuan belajar peserta didik mengkonkritkan pemahaman abstrak dari masalah. Selama fase research, Pendidik lebih sering membimbing diskusi untuk

menentukan apakah peserta didik telah mengembangkan pemahaman konseptual dan relevan berdasarkan proyek.

*Discovery* Tahap penemuan umumnya melibatkan proses menjembatani research dan informasi yang diketahui dalam penyusunan proyek. Ketika peserta didik mulai belajar mandiri dan menentukan apa yang masih belum diketahui.

Beberapa model dari PjBL-STEM membagi peserta didik menjadi kelompok kecil untuk menyajikan solusi yang mungkin untuk masalah, berkolaborasi, dan membangun kerjasama antar teman dalam kelompok.

*Application* Pada tahap aplikasi tujuannya untuk menguji produk/solusi dalam memecahkan masalah. Dalam beberapa kasus, peserta didik menguji produk yang dibuat dari ketentuan yang ditetapkan sebelumnya, hasil yang diperoleh digunakan untuk memperbaiki langkah sebelumnya.

*Communication* Tahap akhir dalam setiap proyek dalam membuat produk/solusi dengan mengkomunikasikan antar teman maupun lingkup kelas. Presentasi merupakan langkah penting dalam proses pembelajaran untuk mengembangkan keterampilan berpikir sistem. Seringkali penilaian dilakukan berdasarkan penyelesaian langkah akhir dari fase ini.

Pembelajaran berbasis proyek (PjBL) yang terintegrasi dengan STEM juga memberikan pembelajaran yang menarik dan efektif untuk mempelajari sains, teknologi, dan matematika. Pembelajaran dengan PjBL dapat menjadi model alternatif bagi guru untuk mengaplikasikan teknologi dan teknik di dalam kelas (Afifah et al., 2020). Hal ini yang menunjukkan bahwa PjBL-STEM mampu meningkatkan efektivitas belajar, menjadikan pembelajaran lebih bermakna, serta memengaruhi sikap siswa dalam pengambilan keputusan dan penyelesaian masalah di dunia nyata (Tseng et al. 2013).

## **B. Keterampilan Berpikir Sistem**

Selain itu, berpikir sistem melibatkan kemampuan menyelesaikan masalah dengan mempertimbangkan berbagai aspek dari keseluruhan sumber dan keterkaitan

konsep dengan disiplin ilmu lainnya (Gilberta, 2018). Berpikir sistem dengan indikatornya dikategorikan sebagai bagian dari keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS). Kemampuan ini memiliki keterkaitan yang erat dengan pengetahuan yang mendalam, terutama pengetahuan yang bersifat sistematis (Zoller & Nahum, 2011).

Berpikir sistem membantu peserta didik menyusun pemikiran mereka secara terstruktur dan menemukan hubungan antara masalah-masalah yang tampaknya tidak berkaitan menjadi saling terhubung (Clark et al., 2017). Berpikir sistem memiliki karakteristik dan persyaratan tertentu. Salah satu persyaratannya adalah pendekatan holistik, yaitu melihat suatu permasalahan secara menyeluruh, bukan dengan memecahnya menjadi bagian kecil (segmentasi) atau hanya memandangnya secara parsial (Nur Fuad, 2012).

Tujuan dari sebuah sistem perlu dirumuskan dengan jelas dan dipahami, sehingga setiap komponen dalam sistem dapat menghasilkan output sesuai harapan berdasarkan input yang diberikan, Penetapan tujuan ini memungkinkan evaluasi efektivitas sistem, yang menunjukkan seberapa baik sistem tersebut berfungsi (Evagorou et al., 2009). mendefinisikan berpikir sistem sebagai "kemampuan untuk memahami dan menafsirkan sistem yang kompleks." Mereka juga mengembangkan model Sistem Berpikir Hierarkis (STH) yang mendukung definisi ini (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2004). Adapun delapan karakteristik hierarkis berpikir sistem disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Delapan karakteristik hierarkis berpikir sistem

| No | Komponen indikator                                                                                                  | Keterangan                                                                                                                                                            |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Kemampuan untuk mengidentifikasi komponen sistem dan proses di dalam sistem (level A) menganalisis komponen sistem. | Arti dari karakteristik ini dalam kaitannya dengan kelangkaan energi adalah kemampuan untuk mengidentifikasi kelangkaan energi dalam kehidupan sehari-hari.           |
| 2  | Kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan antara komponen sistem (level B) mensintesis komponen sistem              | Ekspresi karakteristik ini dalam pembuatan biogas, misalnya kandungan bahan organik, mikroorganisme yang terdapat dalam kotoran sapi dan faktor penting seperti pH    |
| 3  | Kemampuan mengidentifikasi hubungan dinamis dalam sistem (level B) mensintesis komponen sistem                      | Memahami informasi materi dalam sistem pembuatan biogas melibatkan identifikasi kandungan zat dalam kotoran sapi seperti kandungan organik, kimia dan mikroorganisme. |

Tabel 1. Lanjutan

|   |                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                          |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | mengorganisir komponen sistem dan proses dalam kerangka hubungan (level B) mensintesis komponen sistem | Menempatkan komponen, proses, dan hubungan sistem sebagai kerangka kerja yang menyajikan sistem secara keseluruhan. Seperti proses penguraian kotoran sapi menjadi biogas dan reaksi kimia di dalamnya                   |
| 5 | Kemampuan memahami sifat siklik dari sistem (level B) mensintesis komponen sistem                      | Pemahaman tentang pembuatan biogas sebagai suatu sistem yang saling bergantung satu samalain agar terbentuk biogas. Seperti suhu, pH, kadar air, bahan baku, kondisi anaerob, waktu fermentasi.                          |
| 6 | Kemampuan untuk membuat generalisasi ( level C) mengimplementasikan                                    | Generalisasi tersebut dapat dinyatakan dalam pembuatan biogas dengan memahami bahwa sistem ini dinamis dan siklik. Seperti menentukan variabel                                                                           |
| 7 | Memahami yang tersembunyi dimensi sistem ( level C) mengimplementasikan                                | Mengenali pola dan hubungan timbal balik yang tidak terlihat pada peroses pembuatan biogas. Seperti mengenali pola interaksi antara komponen                                                                             |
| 8 | Berpikir sementara: retrospeksi dan prediksi(level C) mengimple-mentasikan                             | Memahami bahwa kelangkaan energi diakibatkan oleh manusia yang tidak bijak dalam menggunakan energi fosil, oleh karna itu ada beberapa solusi kelangkaan energi salah satu solusi nya pembuatan biogas dari kotoran sapi |

Sumber: Diadopsi dari dari Ben-Zvi-Assaraf, dan Orion (2010)

Kelebihan berpikir sistem ininterletak pada kemampuannya membantu individu memahami akar penyebab perilaku kompleks, memprediksi dengan lebih baik, dan menyesuaikan hasil yang diinginkan. Kebutuhan akan pemikir sistem semakin meningkat untuk mengatasi masalah kompleks (Goodman & Michael, 2016).

### C. Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik bahan organik oleh mikroorganisme, di mana kondisi lingkungan bebas oksigen memungkinkan dekomposisi biologis terjadi secara alami. Gas ini sering dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan metana ( $\text{CH}_4$ ) yang tinggi. Biogas dapat dihasilkan dari berbagai sumber seperti limbah rumah tangga, kotoran hewan, dan limbah pertanian. Produksi biogas tidak hanya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan limbah secara berkelanjutan (Garden, 2011). Secara sederhana, biogas adalah campuran gas yang terbentuk dari fermentasi bahan organik tanpa keberadaan oksigen (anaerob). Biogas mengandung beberapa jenis gas, dengan metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon

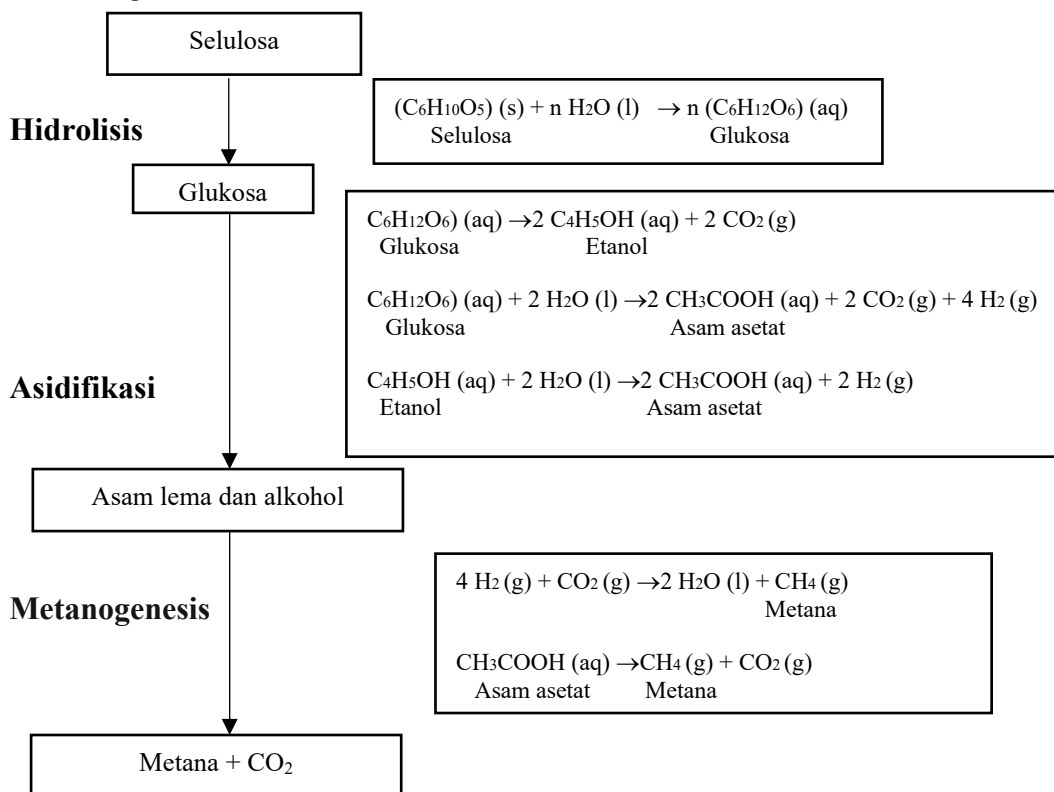
dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebagai komponen utamanya (Simamora et al., 2006). Kandungan energi pada biogas bergantung pada kadar metana yang ada. Semakin tinggi konsentrasi metana, semakin besar nilai kalor yang dihasilkan. Sebaliknya, jika kadar metana rendah, nilai kalor biogas juga akan rendah (Abbasi et al., 2012).

Komponen utama penyusun biogas adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) sebanyak 50-70% dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebanyak 30-40%. Selain itu, biogas juga mengandung hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), uap air, dan gas-gas lainnya seperti nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dalam jumlah kecil. Keberadaan senyawa-senyawa ini sering kali memengaruhi efisiensi dan kualitas energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, proses pemurnian dan peningkatan mutu biogas, seperti penghilangan  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{CO}_2$ , dilakukan untuk meningkatkan kandungan metana hingga mencapai standar penggunaan tertentu, (Struk et al., 2020)

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

Mikroorganisme anaerobik

Bahan Organik  $\longrightarrow$   $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S}$



Gambar 2. Reaksi pembentukan biogas (Haryati ,2006)

#### D. Kotoran Sapi

Kotoran sapi merupakan bahan baku yang sangat potensial untuk menghasilkan biogas melalui proses pencernaan anaerobik. Dalam proses ini, mikroorganisme menguraikan bahan organik di dalam lingkungan tanpa oksigen untuk menghasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Studi menunjukkan bahwa kotoran sapi yang dicampur dengan air dengan perbandingan tertentu, seperti 1:3, dapat menghasilkan biogas yang optimal (Putri et al., 2012).

Selain itu, campuran kotoran sapi dengan limbah dapur juga mempercepat reaksi dan meningkatkan kandungan metana dalam biogas (Tasnim et al., 2017).

Produksi biogas dari kotoran sapi memiliki manfaat ekonomi dan lingkungan. Secara ekonomi, biogas dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang lebih murah dibandingkan bahan bakar fosil. Penelitian teknis-ekonomis menunjukkan bahwa investasi dalam proyek biogas berbahan dasar kotoran sapi memiliki pengembalian yang menguntungkan, dengan nilai rasio manfaat-biaya (B/C ratio) mencapai 1,66 (Muharja et al., 2024). Di sisi lingkungan, penggunaan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan meminimalkan limbah organik yang mencemari lingkungan (Halmaciu et al., 2022).

Selain gas, proses pencernaan anaerobik juga menghasilkan residu atau digestate yang kaya akan nutrisi, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Residu ini dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang meningkatkan produktivitas pertanian (Dadang et al., 2012). Penelitian menunjukkan bahwa pupuk organik dari digestate biogas mampu meningkatkan hasil tanaman hingga 75% dibandingkan tanah tanpa pupuk. Oleh karena itu, penggunaan kotoran sapi untuk biogas tidak hanya mengurangi tekanan terhadap sumber daya energi fosil, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap sistem pertanian berkelanjutan (Kwartiningsih, 2006). Selain itu, kotoran sapi juga mengandung berbagai jenis bakteri dan mikroorganisme, seperti *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Enterobacteriaceae* (*E. coli*), serta *Ruminococcus*. Mikroorganisme dan bakteri tersebut berperan dalam proses dekomposisi bahan organik yang terdapat dalam kotoran sapi (Sinaga et al., 2022).

## E. Penelitian Relefan

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai penerapan PjBL-STEM dan efektivitasnya terhadap peningkatan keterampilan sistem siswa. Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian yang relevan dengan penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penelitian relevan

| No<br>(1) | Peneliti<br>(2)                                                           | Judul<br>(3)                                                                                                                                                        | Metode<br>(4)                                                                                                                                                                     | Hasil<br>(5)                                                                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | Abdurrahman., Nurulsari, N., Maulina. H., Ariyani, F., (2019)             | <i>Design and Validation of Inquiry-based STEM Learning Strategy as a Powerful Alternative Solution to Facilitate Gift Students Facing 21st Century Challenging</i> | penelitian ini dilakukan berdasarkan model pengembangan ADDIE yang terdiri dari <i>Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation</i> .                            | Desain strategi pembelajaran STEM yang dapat digunakan untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa khususnya keterampilan berpikir tingkat tinggi.                                  |
| 2         | Hulwah, H., Nala, L., and Ahmad, S., (2024)                               | <i>The Effect of PjBL STEM Learning on Students' Systems Thinking Skills on Alternative Energy Materials</i>                                                        | Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode quasi eksperimen dengan rancangan <i>pretest-posttest control group design</i> yang bersifat <i>nonequivalent</i> | Penggunaan pembelajaran PjBL-STEM berdampak pada peningkatan kemampuan berpikir sistem siswa. Pembelajaran PjBL-STEM memungkinkan siswa untuk terlibat aktif selama proses pembelajaran. |
| 3         | Mu'minah & Aripin, (2019)                                                 | Implementasi Pembelajaran IPA Berbasis STEM Berbantuan ICT untuk Meningkatkan Keterampilan Abad 21                                                                  | Penelitian ini menggunakan metode pre-eksperimen tanpa kelompok kontrol dan sampel acak. Desain yang digunakan adalah one-group pretest-postes.                                   | Penerapan pembelajaran IPA berbasis Berbasis <i>Science, Technology, Engineering and Mathe-matic</i> (STEM) berbantuan ICT dapat meningkatkan keterampilan abad 21 Secara signifikan     |
| 4.        | Budhyawan S. Bandjar1, Mohammad Gamal Rindarjono1, Singgih Prihadi (2024) | Effectiveness of STEM Learning Model and Project-Based Learning to Enhance Critical Thinking Skills in Senior High School                                           | Penelitian ini menggunakan metode ( <i>Concurrent model</i> ), yang menggabungkan data kuantitatif dan kualitatif guna menjawab permasalahan penelitian                           | Penelitian ini mengungkap dampak positif model STEM dan PjBL terhadap kemampuan berpikir kritis siswa, memberikan wawasan berharga bagi pendidik global.                                 |

Tabel 2. Lanjutan

| (1) | (2)                                                     | (3)                                                                                                                                | (4)                                                                                                                                                                                                                    | (5)                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5.  | Purwaningsih, E., Sari, S., Suryadi, A., (2020)         | <i>The Effect of STEM-PjBL and Discovery Learning on Improving Students' Problem Solving Skills of Impulse and Momentum Topic.</i> | Penelitian ini merupakan Quasi-Experiment dengan Nonequivalent Pretest-Posttest Comparison Group Design, melibatkan kelompok eksperimen dan kelompok pembanding.                                                       | Dalam pembelajaran PjBL STEM siswa lebih terlatih dan tertantang untuk memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari. PjBL STEM berpengaruh positif signifikan terhadap peningkatan kemampuan pemecahan masalah siswa. |
| 6   | Ananda, P. N., & Salamah, U. 2021                       | Meta Analisis Pengaruh Integrasi Pendekatan STEM Dalam Pembelajaran IPA Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik.          | Penelitian ini menggunakan metode meta analisis. Metode meta analisis merupakan penelitian kuantitatif yang dikonfigurasi dalam bentuk data statistik.                                                                 | Integrasi pendekatan STEM model <i>Problem Based Learning</i> lebih efektif diterapkan dibandingkan model lainnya.                                                                                                      |
| 7   | (Kristiani, M & Kurniadi 2017) Jurnal Pendidikan Fisika | Pengaruh pembelajaran STEM-PjBL terhadap keterampilan berpikir kreatif                                                             | Penelitian ini menggunakan metode penelitian Preexperimental Design. hasilnya merupakan variabel dependen bukan semata-mata dipengaruhi oleh variabel independent                                                      | Hasil penelitian menunjukkan pembelajaran yang dilakukan menggunakan model PjBL-STEM berpengaruh terhadap sikap kreatif siswa                                                                                           |
| 8   | (Saefullah et al. 2021) Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika   | <i>Implementation of PjBL-STEM to Improve Students' Creative Thinking Skills On Static Fluid Topic</i>                             | Penelitian ini menggunakan <i>pretest-posttest nonequivalent control group design</i> . masing-masing kelas berjumlah 30 orang. Kelompok pertama kelas eksperimen dan kelompok kedua merupakan kelompok kelas kontrol. | Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan PjBL-STEM dapat meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa pada materi fluida statis (hukum Pascal).                                                                |
| 9   | Wang, H., Moore, Roehrig, G, & Park, M. (2011)          | <i>STEM Integration: Teacher Perceptions and Practice STEM Integration : Teacher Perceptions and Practice.</i>                     | Penelitian ini menggunakan metode <i>qualitative case study</i>                                                                                                                                                        | Hasil penelitian ini menunjukkan STEM merupakan pendekatan inovatif dalam pembelajaran matematika dan sains yang dapat meningkatkan pemahaman siswa.                                                                    |

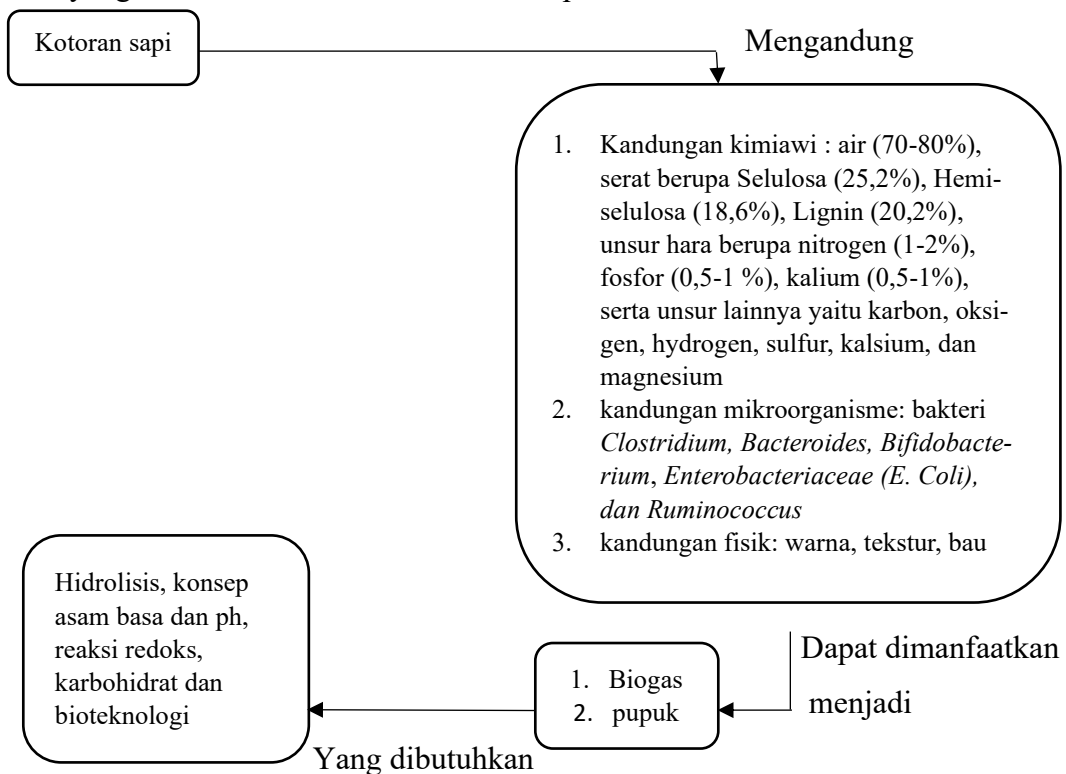


Tabel 2. Lanjutan

| (1) | (2)                                                | (3)                                                                                                                    | (4)                                                                               | (5)                                                                                                                                                                                   |
|-----|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10  | Vachliotis, T., Salta, K., & Tzougraki, C. (2021). | <i>Developing Basic Systems Thinking Skills for Deeper Understanding of Chemistry Concepts in High School Students</i> | Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah <i>quasi-experimental design</i> | Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis <i>systems thinking</i> melalui strategi STEM secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep kimia. |

## F. Pemecahan masalah

Pemecahan masalah diartikan sebagai proses berpikir yang bertujuan untuk mengidentifikasi suatu permasalahan dan mencari solusinya berdasarkan informasi yang diperoleh dari berbagai sumber, sehingga dapat diambil kesimpulan yang tepat (Hamalik, 2004). Untuk memusatkan perhatian pada masalah, metode ini dapat dikembangkan secara deskriptif kualitatif melalui gambar, peta, atau kata-kata yang membantu siswa memahami inti permasalahan.



Gambar 3. Kerangka pemecahan masalah

## G. Pembuatan biogas

Pembuatan biogas dari limbah kotoran sapi merupakan solusi efektif untuk mengelola limbah ternak sekaligus menghasilkan energi terbarukan (Kadir et al., 2024). Pembentukan biogas secara keseluruhan terdapat tiga proses utama dalam pembentukan biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman, dan metanogenesis. Keseluruhan proses ini tidak terlepas dari bantuan kinerja mikroorganisme an-aerob (Mukhtar et al., 2018). Hidrolisis merupakan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik, Senyawa yang dihasilkan dari proses ini diantaranya asam organik, glukosa, etanol, CO<sub>2</sub>, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi (Wahyuni, 2013).

Pengasaman, Senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu Pengasaman atau asidifikasi. Pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO<sub>2</sub>, hidrogen, dan zat amonia (Wahyuni, 2013). Produksi dari fase asidogenik berfungsi sebagai substrat untuk bakteri lain, dari fase asedogenik. fase acetogenic membatasi laju degradasi dalam tahap akhir. dari kuantitas suatu komposisi biogas, kesimpulan dapat ditarik tentang aktivitas bakteri asetogenik. Pada waktu yang sama, senyawa nitrogen organik dan sulfur dapat termineralisasi ke hidrogen sulfur dengan memproduksi amonia (Deublein, 2008).

Metanogenesis bakteri seperti *Methanococcus*, *Methanosarcina*, dan *Methanobacterium* akan mengubah menjadi gas metana, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Berikut reaksi perombakan yang dapat terjadi pada tahap metanogenesis (Wahyuni, 2013). Jumlah energi yang dihasilkan dalam pembentukan biogas sangat bergantung pada konsentrasi gas metana yang dihasilkan pada proses metanogenesis. Semakin tinggi kandungan metana yang dihasilkan, maka semakin besar pula energi yang terbentuk. Sebaliknya, apabila konsentrasi gas metana yang dihasilkan rendah, maka energi yang dihasilkan juga semakin rendah (Wahyuni, 2013).

## H. Kerangka Pemikiran

Pembelajaran kimia pada materi kimia berlangsung di sekolah pada tingkat SMA umumnya belum berorientasi pada pembentukan kemampuan berpikir sistem, sementara pendidikan yang sesuai dengan tuntutan dan kebutuhan masa depan hanya akan terwujud apabila peserta didik mampu mengembangkan pola pikir masyarakat berkelanjutan seperti kemampuan berpikir sistem. Salah satu hal yang menyebabkan rendahnya kemampuan berpikir sistem adalah penggunaan bahan ajar yang kurang efektif pada proses pembelajaran. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pendekatan pembelajaran yang lebih kontekstual dan berorientasi pada pemecahan masalah nyata seperti Project Based Learning berbasis STEM (PjBL-STEM) dapat diterapkan. Pada pendekatan ini, siswa dibimbing melalui serangkaian fase pembelajaran yang mendorong keterlibatan aktif dan melatih keterampilan berpikir sistem.

Fase pertama yaitu *reflection* siswa diberikan masalah nyata di kehidupan sehari-hari dengan mengamati fenomena terkait permasalahan kelangkaan energi dan keterbatasan sumber energi fosil, lalu berdasarkan fenomena tersebut siswa mengidentifikasi masalah-masalah dengan pengetahuan yang sudah dimiliki. sehingga siswa dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan mengenai biogas sebagai solusi alternatif sehingga pada tahapan ini dapat melatih siswa memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi sistem dan proses di dalam sistem serta kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan antara komponen sistem.

Fase kedua yaitu *research* dimana siswa mencari informasi mengenai kandungan yang terdapat dalam kotoran sapi, lalu siswa mencari proses penguraian menjadi biogas dalam proses pembuatan biogas meliputi reaksi hidrolisis, asidifikasi, metanogenesis dan siswa mencari informasi tentang factor-faktor yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan biogas. Data yang di dapat di gunakan untuk menyelesaikan pembuatan biogas, sehingga dalam tahap ini siswa dilatihkan Kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan dinamis dalam sistem, kemampuan mengorganisasi komponen sistem dan proses dalam kerangka hubung serta melatih keterampilan kemampuan untuk memahami sifat siklik dari sistem, Selanjutnya pada tahap ke 3.

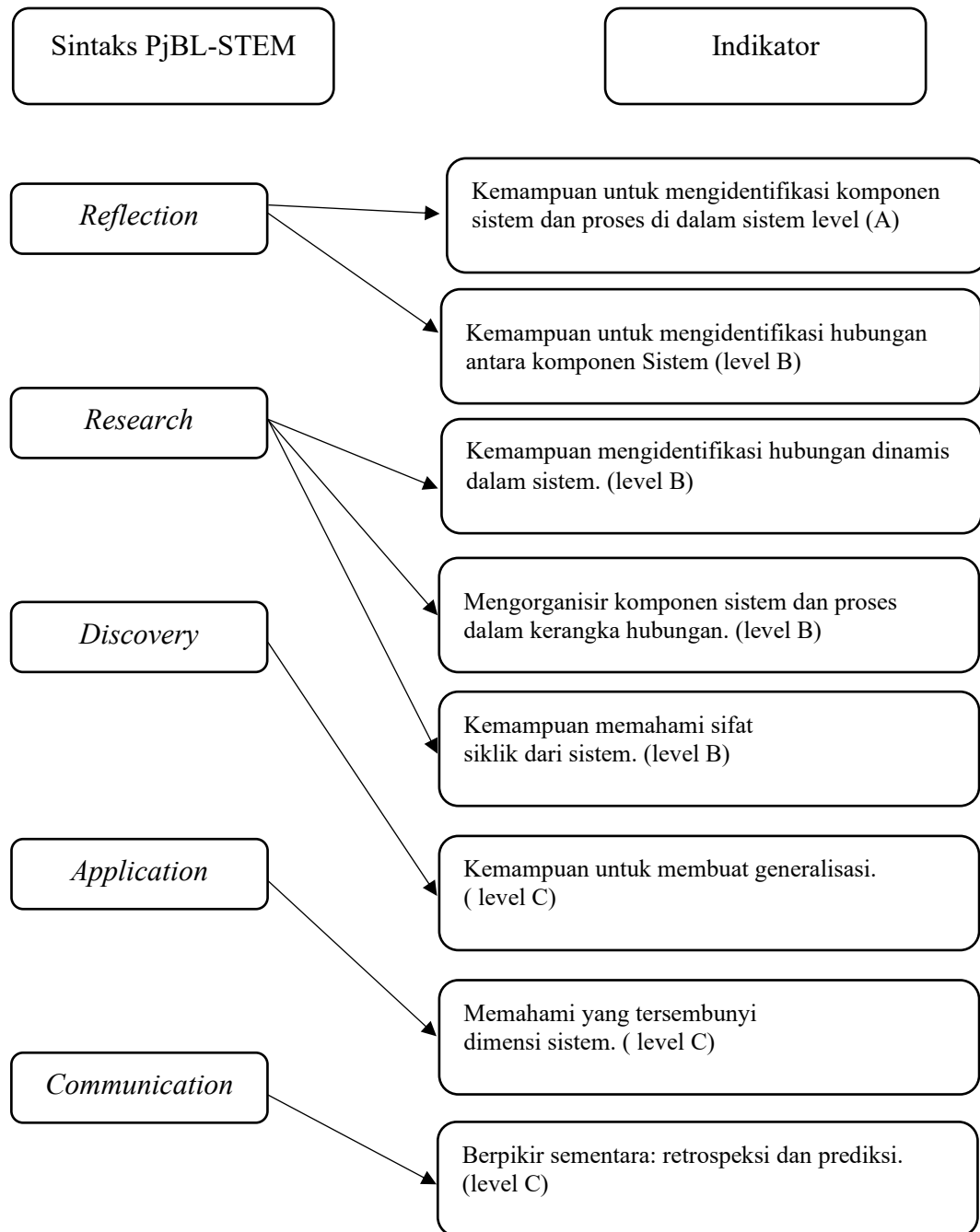
Tahap ketiga *discovery*, yaitu siswa mulai menerapkan pengetahuan dan keterampilan yang telah mereka miliki untuk merancang desain produk, menentukan variabel yang mempengaruhi hasil produk biogas. Lalu siswa menentukan bahan dan tempat pembuatan biogas. Siswa membuat rancangan proyek berdasarkan penelitian sebelumnya yang sudah dipertimbangkan, Tahapan ini mengarahkan siswa memiliki kemampuan untuk membuat generalisasi.

Tahap keempat *application* yaitu siswa menyiapkan alat dan bahan yang digunakan selanjutnya siswa melakukan percobaan pembuatan biogas dari kotoran sapi. Pada tahapan ini siswa didampingi dan diarahkan pembuatan biogas agar tidak terjadi kesalahan teknis dan hasilnya. Pada tahapan ini siswa dilatihkan keterampilan yang bertujuan untuk melatih kemampuan memahami sifat siklus dari sistem.

Tahap kelima *communication*, yaitu siswa mengkomunikasikan hasil eksperimen pembuatan biogas dari kotoran sapi secara terstruktur kepada teman-teman dan guru melalui presentasi, selanjutnya guru dan teman-teman memberikan umpan balik serta mendiskusikan potensi pengembangan lebih lanjut, dalam tahap ini siswa dilatih kemampuan retropeksi mengarahkan siswa untuk mampu menganalisis dan evaluasi. Siswa juga di tuntun untuk membandingkan hasil eksperimen dengan teori dan membuat prediksi tentang perbaikan agar produk yang di hasilkan dapat di terapkan dalam kehidupan sehari-hari dan lebih efisien, hal ini bertujuan untuk melatih siswa berpikir prediksi dan retrospeksi yang melatih siswa untuk meninjau kembali proses dan hasil yang telah dicapai sehingga mendorong siswa agar terbentuk pola berpikir sistem. Dalam tahapan ini siswa dilatihkan keterampilan berpikir sementara: retropeksi dan prediksi. Kerangka pemikiran mengenai model PjBL-STEM disajikan pada Gambar 4.

## **I. Hipotesis Penelitian**

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



Gambar 4. Kerangka pemikiran

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Populasi dan Sampel**

Penelitian ini dilaksanakan di SMAN 13 Bandarlampung. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa di kelas XI. F SMAN 13 Bandar Lampung pada tahun ajar 2024/2025 yang berjumlah 142 siswa dan terbagi menjadi 4 kelas dengan rincian 51 siswa laki-laki dan 91 siswa perempuan.

Sampel diambil menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu metode pemilihan sampel yang didasarkan pada pertimbangan khusus yang ditentukan oleh peneliti (Fraenkel et al., 2012). Pertimbangan dalam menentukan sampel didasarkan pada hasil observasi bersama guru mata pelajaran kimia. Informasi yang diperoleh menunjukkan bahwa kelas yang lebih kondusif dan memiliki kemampuan kognitif yang relatif seragam dijadikan acuan dalam memilih sampel penelitian. Berdasarkan hal itu, peneliti memutuskan kelas yang akan dijadikan sampel untuk kelas eksperimen. Kelas yang dipilih sebagai sampel adalah kelas XI. F4 sebagai kelas eksperimen.

#### **B. Jenis dan Sumber Data**

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan data utama dan data pendukung. Data utama berupa skor pretes dan postes keterampilan berpikir sistem. Data pendukung berupa data hasil kinerja produk, data hasil kinerja produk berpikir, hasil angket respon siswa terhadap pembelajaran model PjBL-STEM, dan data hasil keterlaksanaan pembelajaran model PjBL-STEM yang diisi oleh observer. Sumber data dalam penelitian ini adalah seluruh siswa di kelas Eksperimen.

### C. Desain Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *weak experimental design* dengan desain penelitian *One Group Pretest-Posttest Design* (Fraenkel & Wallen, 2012). Adapun desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Desain penelitian *One Group Pretest-Posttest Design*

| Pretest | Perlakuan | Posttest |
|---------|-----------|----------|
| O       | X         | O        |

Keterangan:

X: Perlakuan Pembelajaran

O: Observasi (pretes & postes)

Pada desain ini tes yang dilakukan sebanyak dua kali, sebelum dan sesudah diberikan perlakuan. Tes yang dilakukan sebelum mendapatkan perlakuan disebut pretes, pretes diberikan pada kelas eksperimen (O). Kemudian setelah dilakukan pretes, peneliti memberikan perlakuan berupa pembelajaran PjBL-STEM pemanfaatan kotoran sapi (X), pada tahap akhir peneliti memberikan postes (O), untuk melihat hasil belajar berdasarkan perlakuan yang telah diberikan.

### D. Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari variabel terikat, variabel bebas, dan variabel kontrol.

Variabel terikat yaitu keterampilan berpikir sistem siswa kelas XI. F4 SMA N 13 Bandar Lampung Tahun Ajaran 2024/2025. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu model pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi.

Variabel kontrol adalah materi yang dipelajari dan guru yang mengajar di kelas.

### E. Instrumen penelitian dan Validitas instrumen

#### 1. Instrumen penelitian

- a. Soal pretes dan postes keterampilan berpikir sistem siswa digunakan untuk menilai sejauh mana siswa mampu memahami dan menganalisis sistem. Penilaian ini mencakup beberapa aspek, yaitu: kemampuan mengidentifikasi komponen dan proses dalam sistem, memahami hubungan antar komponen, mengenali interaksi dinamis dalam sistem, serta mengorganisir komponen dan proses dalam suatu kerangka kerja. Selain itu, soal ini juga mengukur pemahaman siswa terhadap sifat siklik suatu sistem, kemampuan membuat generalisasi, menginterpretasikan dimensi tersembunyi dalam sistem, serta berpikir dalam perspektif waktu, baik secara retrospektif maupun prediksi. Penilaian dilakukan berdasarkan rubrik yang telah disusun.
- b. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berfungsi sebagai alat penilaian kinerja proses siswa dalam menyelesaikan masalah melalui jawaban tertulis selama pembelajaran PjBL-STEM tentang pembuatan biogas dari kotoran sapi, dengan penilaian berdasarkan rubrik yang telah ditetapkan. Sementara itu, lembar observasi penilaian kinerja produk digunakan untuk menilai hasil akhir produk siswa dalam pembelajaran yang sama. Penilaian produk dilakukan berdasarkan beberapa aspek utama, yaitu warna nyala api yang dihasilkan, volume gas yang terbentuk, serta efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan biogas, dengan acuan rubrik penilaian yang telah disusun.
- c. Lembar observasi angket respons siswa terhadap pembelajaran PjBL-STEM digunakan untuk menilai tanggapan siswa terhadap pelaksanaan pembelajaran tersebut. Penilaian dilakukan menggunakan angket tertutup yang berisi pernyataan positif, di mana siswa memberikan tanda ceklist (✓) pada setiap item. Angket ini terdiri dari empat kategori penskoran, yaitu skor tertinggi 4 untuk kategori "sangat setuju," skor 3 untuk "setuju," skor 2 untuk "tidak setuju," dan skor 1 untuk "sangat tidak setuju."
- d. Lembar observasi kinerja produk digunakan untuk menilai hasil produk yang dihasilkan siswa selama proses pembelajaran PjBL-STEM dengan tema pemanfaatan kotoran sapi. Penilaian dilakukan terhadap masing-masing produk didasarkan pada beberapa aspek yang dinilai, meliputi volume gas yang



dihasilkan dan warna nyala api yang diperlukan dalam proses pembuatan. Penilaian produk ini mengacu pada rubrik penilaian dengan rentang skor, di mana skor tertinggi adalah 8 dan skor terendah adalah 6.

- e. Lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran model PjBL-STEM digunakan untuk menilai sejauh mana tahapan pembelajaran sesuai dengan modul ajar kurikulum merdeka. Lembar ini diisi oleh guru mata pelajaran kimia pada akhir pembelajaran. Penilaian keterlaksanaan pembelajaran dilakukan melalui angket tertutup dengan pernyataan positif, di mana guru memberikan tanda ceklist (✓) pada setiap item. Kategori penskoran yang digunakan sama, yaitu skor 4 untuk "sangat setuju," skor 3 untuk "setuju," skor 2 untuk "tidak setuju," dan skor 1 untuk "sangat tidak setuju."

## 2. validitas instrumen

Dalam penelitian ini, pengujian instrumen dilakukan melalui validitas isi.

Validitas isi dilakukan dengan cara *judgment* oleh dosen pembimbing.

## F. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan observasi, penelitian, dan pelaporan.

Berikut adalah langkah-langkah yang digunakan

### 1. Observasi

Kegiatan yang dilakukan pada prapenelitian adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan observasi ke sekolah dan meminta data awal untuk menentukan jumlah sampel penelitian, jadwal, kelengkapan alat dan bahan di laboratorium, dan sarana prasarana yang akan digunakan sebagai pendukung pelaksanaan penelitian. Selanjutnya berdiskusi dengan guru mata pelajaran terkait jadwal pelaksanaan dan teknis pelaksanaan penelitian.

### 2. Pelaksanaan penelitian

Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Tahap persiapan

Tahap pertama yaitu menyusun instrumen penelitian yang berupa modul ajar kumer dan LKPD berbasis proyek, dan instrumen tes yang terdiri dari soal pretes dan postes berupa soal uraian, dan instrumen non tes berupa lembar penilaian kinerja produk, angket respon siswa, dan lembar observasi tingkat terhadap keterlaksanaan pembelajaran.

b. Tahap pelaksanaan penelitian

Adapun tahap pelaksanaan penelitian di antaranya adalah (1) Melakukan pretes pada kelas eksperimen, (2) Melaksanakan kegiatan PjBL-STEM pada topik pembuatan biogas dari kotoran sapi yang diterapkan di kelas eksperimen, (3) Melakukan observasi penilaian kinerja produk, (4) melakukan postes pada kelas eksperimen, (5) melakukan observasi angket respon siswa, (6) melakukan observasi penilaian keterlaksanaan model PjBL-STEM yang diisi oleh guru mata pelajaran kimia, (7) melakukan analisis data utama dan data pendukung menggunakan SPSS versi 26 serta menghitung nilai *n-gain* (8) menarik kesimpulan.

c. Pelaporan, pada tahap ini membuat laporan berupa tugas akhir. Laporan yang dibuat berisi mengenai hasil penelitian secara tertulis.

Adapun langkah-langkah prosedur penelitian dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 4.

## G. Teknik Analisis Data dan Pengujian Hipotesis

### 1. Teknik analisis data

Penelitian ini menggunakan analisis data kuantitatif. Proses analisis dilakukan terhadap data utama serta data pendukung yang diperoleh dalam penelitian.

#### a. Analisis data utama

Data utama dalam penelitian ini berupa skor tes keterampilan berpikir sistem sebelum penerapan pembelajaran pretes dan setelah penerapan pembelajaran postes. Secara operasional, skor pretes dan postes dalam penilaian keterampilan berpikir sistem siswa dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Skor siswa} = \frac{\text{jumlah skor benar}}{\text{jumlah skor maksimal}}$$

Selanjutnya skor pretes dan postes siswa yang diperoleh, dihitung skor rata-rata pretes dan rata-rata postes dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Skor rata-rata siswa} = \frac{\text{jumlah nilai seluruh siswa}}{\text{jumlah siswa}}$$

Data yang diperoleh digunakan untuk pengujian hipotesis. Keterampilan berpikir sistem siswa ditunjukkan oleh nilai *n-gain* yang diperoleh siswa dalam tes. Adapun rumus *n-gain* (Hake, 1998) adalah sebagai berikut:

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

setelah perhitungan *n-gain* masing-masing siswa, dilakukan perhitungan *n-gain* rata rata kelas di kelas eksperimen. Rumus nilai *n-gain* rata rata kelas adalah:

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

Hasil perhitungan *n-gain* rata-rata diterapkan dengan kriteria (Hake, 1998). Kriteria pengklasifikasian *n-gain* menurut Hake (1998) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi *n-gain*

| Besarnya <i>n-gain</i>    | interpretasi |
|---------------------------|--------------|
| <i>n-gain</i>             | Tinggi       |
| $0,3 \leq n - gain < 0,7$ | Sedang       |
| <i>n-gain</i> < 0,3       | Rendah       |

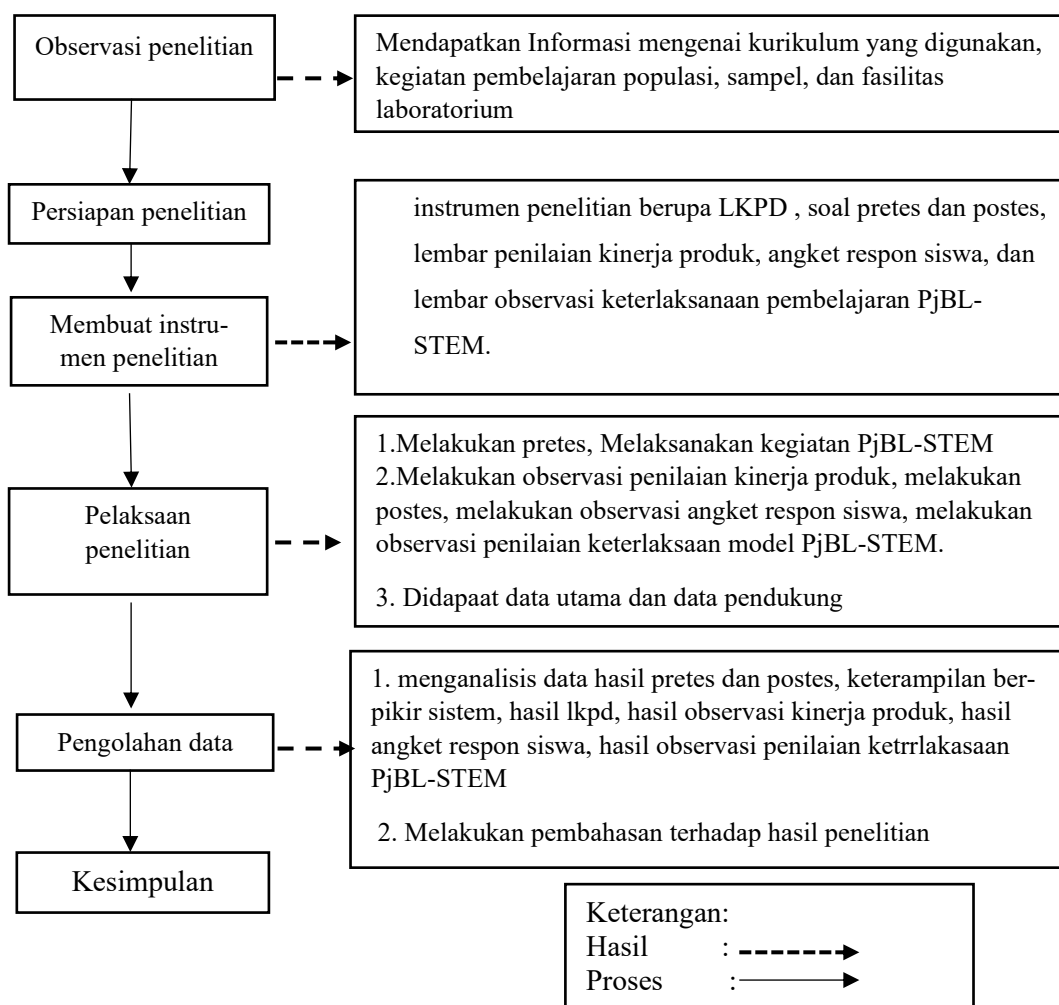
#### b. analisis data pendukung

Data pendukung yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup penilaian produk dan respons siswa, yang dijelaskan secara kualitatif dan deskriptif. Selain itu, dilakukan analisis terhadap tingkat keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM dalam pemanfaatan kotoran sapi (Kadir et al., 2024).

##### 1) Analisis data kinerja produk

Indikator *task* yang diukur dalam kinerja produk adalah jawaban LKPD siswa dan kualitas biogas yang dihasilkan. skor produk indikator *task* dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Skor tiap kelompok} = \frac{\text{jumlah skor yang diperoleh}}{\text{skor maskimal}}$$



Gambar 5. Bagan prosedur penelitian

Rata-rata perolehan skor dihitung menggunakan rumus dibawah ini

$$\text{Rata-rata skor produk seluruh kelompok} = \frac{\text{jumlah skor seluruh kelompok}}{\text{jumlah kelompok}}$$

## 2) LKPD

Indikator task yang diukur dalam kinerja juga mencakup jawaban siswa pada LKPD perolehan skor unruk setiap soal pada jawaban lkpd siswa ditentukan berdasarkan ketentuan berikut

Perolehan skor tiap soal pada jawaban LKPD siswa adalah sebagai berikut

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

## 2) Analisis data respon siswa

Hasil angket respon siswa terhadap PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi menggunakan angket tertutup dengan pernyataan positif, yang dilakukan dengan cara memberikan tanda checklist (✓) pada setiap kategori yang akan dipilih, pengkategorian pada angket respon siswa seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Kategori respon siswa

| Skor | 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:

- Menghitung jumlah skor seluruh siswa tiap item
- Menghitung persentase skor rata-rata tiap item dengan rumus berikut:

$$\bar{x} \text{ persentase skor tiap item} = \frac{\sum \text{skor siswa tiap item}}{n \times \text{skor maksimal}} \times 100\%$$

Keterangan:

n = jumlah siswa

- Menghitung persen skor rata-rata seluruh item dengan rumus berikut

$$\% \bar{x} \text{ seluruh item} = \frac{\bar{x} \text{ persentase skor tiap item}}{\text{jumlah item}}$$

- Hasil perhitungan persentase skor rata-rata siswa seluruh item kemudian diinterpretasikan dengan menggunakan kriteria (Sugiono, 2019)

Dengan kriteria hasil uji yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kriteria penskoran respon siswa

| 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  |

### 3) analisis data keterlaksanaan pembelajaran

Keterlaksanaan pembelajaran PjBL-STEM pemanfaatan kotoran sapi diukur melalui penilaian terhadap keterlaksanaan pembelajaran yang memuat tahapan dari PjBL-STEM pemanfaatan kotoran sapi, dibuat menggunakan angket tertutup dengan pernyataan positif yang dilakukan dengan cara memberikan tanda checklist (✓) pada setiap aspek yang akan dipilih. Adapun langkah-langkah terhadap keterlaksanaan PjBL pemanfaatan kotoran sapi sebagai berikut:

a. Menghitung jumlah skor yang diberikan oleh pengamat untuk setiap aspek pengamatan, kemudian menghitung persentase ketercapaian dengan rumus berikut:

$$\%J1 = \frac{\sum ji}{n} \times 100\%$$

Keterangan

%J1 : Persentase ketercapaian dari skor ideal untuk setiap aspek pengamatan pada pertemuan ke-i

$\sum ji$  : Jumlah skor setiap aspek pengamatan yang diberikan oleh pengamat pada pertemuan ke-i

n : Skor maksimal (Sudjana,2005)

b. Menghitung rata-rata ketercapaian untuk setiap aspek pengamatan

c. Menafsirkan data keterlaksanaan PjBL-STEM berdasarkan persentase ketercapaian pelaksanaan pembelajaran (Arikunto,2002) seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria tingkat ketercapaian pelaksanaan

| Persentase (%) | Kriteria      |
|----------------|---------------|
| 80,1 % - 100%  | Sangat tinggi |
| 60,15 % - 80 % | Tinggi        |
| 40,1 % - 60 %  | Sedang        |
| 20,1 % - 40 %  | Rendah        |
| 0,0 % - 20 %   | Sangat rendah |

## 2. Pengujian Hipotesis

Jika sampel penelitian berasal dari populasi yang berdistribusi normal, maka uji hipotesis dilakukan dengan statistic parametrik yaitu uji *dependent*

*sample t-Test* namu jika tidak terdistribusi normal, maka akan dilakukan uji dengan metode statistic non parametrik yaitu uji *Wilcoxon xignd rank test*

a. uji perbedaan dua rata-rata

#### 1. uji normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah data dari sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak. Untuk menguji normalitas digunakan dengan uji *shapiro-wilk* dengan taraf signifikansi 5% (Sudjana, 2005).

Hipotesis uji sebagai berikut.

Hipotesis:  $H_0$  : Sampel penelitian berasal dari populasi yang berdistribusi normal

$H_1$  : Sampel penelitian berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal

Distribusi data tersebut menentukan jenis uji statistik yang akan digunakan, menggunakan uji parametrik, dengan bantuan SPSS versi 28.0.1.0. Adapun kriteria uji normalitas yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Nilai signifikan  $< 0,05$  maka  $H_0$  ditolak,  $H_1$  diterima data berdistribusi tidak normal.
- 2) Nilai signifikan  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima,  $H_1$  ditolak data berdistribusi normal. (Misbahuddin & Hasan, 2013).

#### 2. uji hipotesis

Berdasarkan hasil uji normalitas maka sampel penelitian berasal dari distribusi normal, kemudian melakukan uji *dependent sample t-test*.

a) Uji *dependent sample t-test*.

*Dependent sample t-test* merupakan uji beda dua sampel berpasangan, sampel berpasangan ini merupakan subjek yang sama tapi mengalami perlakuan yang berbeda. Berikut rumus manual *Dependent sampel t-test*:

$$t = \frac{\bar{D}}{\left(\frac{SD}{\sqrt{N}}\right)}$$

$t$  = Nilai  $t$  hitung

$\bar{D}$  = Rata-rata pengukuran sampel 1 dan 2

$SD$  = Standar deviasi pengukuran sampel 1 dan 2

$N$  = Jumlah sampel

Kriteria pengambilan keputusan yaitu :

$T_{\text{tabel}} > T_{\text{hitung}}$  :  $H_0$  diterima atau  $H_a$  ditolak

$T_{\text{tabel}} < T_{\text{hitung}}$  :  $H_0$  ditolak atau  $H_a$  diterima

Rumusan hipotesis untuk uji ini :

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

$H_1 : \mu_2 > \mu_1$  : skor rata-rata postes keterampilan berpikir sistem siswa lebih besar dari skor rata-rata pretes keterampilan berpikir sistem setelah diterapkan model pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi

Keterangan :

$\mu_1$  = Skor rata-rata pretes keterampilan berpikir sistem siswa

$\mu_2$  = Skor rata-rata postes keterampilan berpikir sistem siswa

Pengujian *dependent sample t-test* juga dapat dilakukan menggunakan *SPSS versi 28.0* melalui pengamatan nilai signifikansi  $t$  pada tingkat  $\alpha$  yang digunakan (penelitian ini menggunakan tingkat  $\alpha$  sebesar 5%). Adapun untuk ketentuan kriteria uji sebagai berikut:

1. Jika nilai signifikan  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima atau  $H_a$  ditolak (perbedaan nilai yang tidak signifikan).
2. Jika nilai signifikan  $< 0.05$  maka  $H_0$  ditolak atau  $H_a$  diterima (perbedaan nilai yang signifikan). (Widiyanto, 2013).



## **V. KESIMPULAN**

### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pembelajaran PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa SMA. Hal ini berdasarkan nilai *n-gain* rata-rata siswa yang di dapat 0,71 berkategori tinggi dan 8 indikator mengalami peningkatan pada setiap tahap pembelajaran. Selain itu keefektifan model PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi dalam meningkatkan keterampilan berpikir sistem juga didukung dengan data respons siswa yang di dapat berkategori sangat baik dan tingkat keterlaksanaan berkategori tinggi. Kemudian, skor rata-rata kinerja produk berpikir berkategori tinggi.

### **B. Saran**

Penelitian yang telah dilakukan, disarankan bahwa:

1. Bagi guru dan calon peneliti yang juga tertarik dengan penelitian model PjBL-STEM pembuatan biogas dari kotoran sapi sebaiknya lebih memperhatikan dalam pemilihan alokasi waktu yang sesuai sehingga proyek dapat berjalan dengan baik dan tidak berbenturan dengan kalender akademik.
2. Bagi guru yang ingin menerapkan pembelajaran berbasis proyek sebaiknya lebih mempersiapkan diri dengan memperluas wawasan terkait alternatif bahan dan alat yang digunakan agar nantinya dapat memandu siswa dalam menghasilkan suatu produk.

3. Bagi sekolah sebaiknya lebih memperhatikan fasilitas-fasilitas belajar bagi siswa seperti alat-alat dan bahan-bahan laboratorium agar mempermudah pembelajaran salah satunya pembelajaran berbasis proyek ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T., Tauseef, S.M., & Abbasi, S.A. 2012. *Biogas Energy*. London: Springer New York Dordrecht.
- Abdurrahman, Ariyani, F., Maulina, H., & Nurulsari, N. 2019. Design and validation of inquiry-based STEM learning strategy as a powerful alternative solution to facilitate gifted students facing 21st century challenging. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 7(1), 33–56.
- Afifah, A. N., Ilmiyati, N., & Toto, T. 2020. Pengaruh Model Project Based Learning (PjBL) Dengan Pendekatan Stem Terhadap Penguasaan Konsep Dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa. *J-KIP (Jurnal Keguruan Dan Ilmu Pendidikan)*, 1(2), 33–40. <https://doi.org/10.25157/j-kip.v1i2.4400>
- Aini, M., Ridianingsih, D. S., & Yunitasari, I. 2022. Effectiveness of STEM-based project-based learning (PjBL) model on students' critical thinking skills. *Jurnal Kiprah Pendidikan*, 1(4), 247–253.
- Ananda, P. N., & Salamah, U. 2021. Meta Analisis Pengaruh Integrasi Pendekatan STEM Dalam Pembelajaran IPA Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 7(1), 54-64.
- Arikunto. 2002. *Metodologi Penelitian Suatu Pendekatan Proposal*. PT. Rineka Cipta.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. 2017. A Complete Set of Systems Thinking Skills. 20 (3). *Annual INCOSE International Symposium*.
- Astri, H., Sinurat, Y., & Muhammad, D. 2022. The Implementation of Integrated Project-Based Learning Science Technology Engineering Mathematics on 8 (1) 83-94. *JPPPF (Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pendidikan Fisika)*
- Astuti, I. D., Toto, & Yulisma, L. 2019. Model Project Based Learning (PjBL) Terintegrasi STEM untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Aktivitas Belajar Siswa. *Quagga: Jurnal Pendidikan Dan Biologi*, 11(2), 93.

- Ayu Nurdian, Krisnaningasih erina, Nadia Supra 2021. Project-Based Learning (PjBL)-STEM: Bibliometric Analysis and Research Trends (2016-2020). *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 9(3), 368-380.
- Bandjar, B. S., Rindarjono, M. G., & Prihadi, S. (2024). Effectiveness of STEM Learning Model and Project-Based Learning to Enhance Critical thinking Skills in Senior High School. *Jambura Geo Education Journal* September, 127–139. <https://doi.org/10.37095/jgej.v5i2.26532>
- Ben-Zvi Assaraf, O. & Orion, N. 2004. *A study of perceptions of junior high students of the water cycle in its application to teaching science in the “science for all” era*. website: [stwww.weizmann.ac.il/g-earth](http://stwww.weizmann.ac.il/g-earth).
- Ben-Zvi-Assaraf, O., & Orion, N. 2010. Four Case Studies, Six Years Later, Developing System Thinking Skills in Junior High School and Sustaining Them over Time. *Journal Of Research In Science Teaching*, 47(10), 1253-1280.
- Bungsu, R., & Rosadi, K. I. 2021. Faktor yang Mempengaruhi Berpikir Sistem: Aspek Internal dan Eksternal. *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informatika*, 2(2), 205–215. <https://doi.org/10.31933/jemsi.v2i2.391>
- Bybee, R. W. 2013. *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. Arlington: National Science Teachers Association.
- Capraro, R. Michael., Capraro, M. Margaret., & Morgan, J. R. 2013. *STEM project-based learning: an integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. SensePublishers.
- Casnas, Purnawan, Firmansyah, I., & Triwahyuni, H. 2022. Evaluasi Proses Pembelajaran dengan Pendekatan Systems Thinking. *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 12(1), 31–38.
- Clark, S., Petersen, J. E., Frantz, C. M., Roose, D., Ginn, J., & Daneri, D. R. 2017. Teaching Systems Thinking to 4th and 5th Graders Using Environmental Dashboard Display Technology. *Pone*, 1–11.
- Dadang dan Cahyono. 2012. *Pembangunan Instalasi Biogas dari Air Limbah*
- Damayanti, A. A., Fuadina, Z. N., Azizah, N. N., Karinta, Y., & Ketut Mahardika, D. I. 2021. Pemanfaatan sampah organik dalam pembuatan biogas sebagai energi kebutuhan hidup sehari-hari. *Jurnal Teknik Energi* Vol.17 No.3, 182-190
- Deublein, D., and A. Steinhauser. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resource. *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*. Weinheim. 443 hlm.

- Dzulkarnain, A., Suryani, E., & Aprillya, M. R. 2019. Analysis of flood identification and mitigation for disaster preparedness: A system thinking approach. *Procedia Computer Science*, 161, 927–934.
- Elva, Y., & Kartika Irawati, R. 2021. Pengaruh Project Based Learning-STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) Terhadap Pembelajaran Sains pada Abad 21. *E-d Humanistics*, 06(01), 793–798.
- Erlinawati, C. E., Bektiarso, S., & Maryani. 2019. Model Pembelajaran Project Based Learning Berbasis STEM Pada Pembelajaran Fisika. *Integrasi Pendidikan, Sains Dan Teknologi Dalam Mengembangkan Budaya Ilmiah Di Era Revolusi Industri 4.0*, 4(1), 1–4.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. 2009. An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, 31(5), 655–674. <https://doi.org/10.1080/09500690701749313>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. 2012. *How to Design and Evaluate Research In Education*. The McGraw-Hill Companies.
- Fitriyani, A., Toto, T., & Erlin, E. 2020. Implementasi Model Project Based Learning Terintegrasi STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi. *Bioed: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(2), 1-6.
- Gilberta, Lisa A. Deborah S. Gross & Karl J. Kreutz. 2018. Developing Undergraduate Students System Thingking Skills with an InTeGrate Module. *Journal of Geoscience Education*. 67, 1-16.
- Goodman, Michael. *System Thinking: What, Why, When, Where, and How?*. Artikel diambil pada tanggal 20 desember 2024 dari
- Grande, C. A. 2011. Biogas Upgrading by Pressure Swing Adsorption. *Biofuel's Engineering Process Technology*. <https://doi.org/10.5772/18428>
- Halmaciu, lonel, V. 2022. Experimental research concerning the possibility of the cow manure conversion into biogas Experimental research concerning the possibility of the cow manure conversion into biogas. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 7(2), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/960/1/012016>
- Hamalik, O. (2004). *Proses Belajar Mengajar*. Jakarta: Bumi Aksara
- 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.

- Hidayatno, A. (2016). Berpikir System: Pola Berpikir Untuk Pemahaman Yang Lebih Baik. Reseachgate, May, 127.
- Holik, A., Habbib, K., M., Atmaka Aji, A., Studi Agribisnis, P., Negeri Banyuwangi, P., Studi Teknologi Pengolahan Hasil Ternak, P., Negeri Banyuwangi Jl Raya Jember Km, P., & Kabat Banyuwangi, L. 2020. PKM Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Sumber Energi. *Jurnal Pengabdian Masyarakat J-DINAMIKA*, 5(2). 26-30
- Hopper, M., & Stave, K. 2008. Assessing the effectiveness of systems thinking interventions in the classroom. *Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society*, 1–26. <http://www.systemdynamics.org/conferences/2008/proceed/papers/STAVE390.pdf>
- Hulwah, H., Nala, L., and Alfisyahr, S., 2024. Effect of PjBL STEM Learning on Students' Systems Thinking Skills on Alternative Energy Materials. *Ayan*, (1), 37–48. <https://doi.org/10.20527/bipf.v12i3.18968>
- Insani, N., Fadiawatia, N., Rudibyani, R. B., & M. Mahfudz, F.S. 2018. Using Project-Based Learning in Improving Students' Critical Thinking Skills to Separate of Mixtures. *International Journal of Chemistry Education Re-search* . 2 (2): 84-88
- Jacobson, M. J., Levy, S. T., Blikstein, P., & Wilensky, U. 2006. Complex Systems and Learning : Empirical Research , Issues , and “ Seeing ” Scientific Knowledge with New Eyes Symposium Overview Implementing Multi-Agent Modeling in the Classroom : Lessons from Empirical Studies in Undergraduate Engineering Education On. *International Journal*. 3: 266-272
- Johariah., Tri, J., Dewi, L., 2023. Review of Assessment Instruments to Measure Students' System Thinking Skills. *Journal of Education Technology Information Social Sciences and Health*. 2 (2) 883-889
- Kadir, L., Saber, M., Khelifi, A., & Yassaa, N. 2024. Bio-valorization of Cow Dung for Green Renewable Energy. *Journal of Renewable Energies*, 2024(Special Issue), 143–149.
- Kristiani, K., Tantri, M., and Erawan, K., 2017. “Pengaruh Pembelajaran STEM-PjBL Terhadap Keterampilan Berpikir Kreatif.” *Prosiding SNPF (Seminar Nasional Pendidikan Fisika)* 21: 266–74. <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/snpf/article/view/1719>.
- Kurniahtunnisa, A., et al. 2023. Pembelajaran berbasis proyek terintegrasi dengan STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir sistem siswa. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, 14(1), 25-40.

- Kwartiningsih, E, 2006, *Pemurnian Biogas dari Kandungan Hidrogen Sulfida*
- Laboy Rush, D. (2010). Integrated STEM Education through Project-Based Learning. *Journal Learning. Com*, 12(1), 12–13.
- Liliyah., & Suliyah. 2018. Penerapan project based learning terintegrasi STEM untuk meningkatkan literasi sains siswa ditinjau dari gender. *Jurnal Inovasi Guru IPA*, 2(2), 202.
- Ma'sumah, A., & Mitarlis, M. 2021. Pengembangan LKPD berorientasi STEM dengan model *Project Based Learning* Materi Larutan Elektrolit Non-elektrolit dengan Memanfaatkan Bahan Sekitar. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Kimia (Journal Of Innovation in Chemistry Education)*, 3(1), 22-34.
- Meilinda, Rustaman, N. Y., Firman, H., & Tjasyono, B. 2018. Development and Validation of Climate Change System Thinking Instrument (CCSTI) For Measuring System Thinking on Climate Change Content. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1), 1–8.
- Misbahudin, & Iqbal, H. 2013. *Analisis Data Penelitian Dengan Statistik*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Muharja, M., Khotimah, H., Darmayanti, R. F., & Prastika, A. 2024. Techno-Economic Analysis of Biogas Production from Cow Manure. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 8 (1), 1–13.
- Muktamar, F., Abubakar aliyulah., Saullawa aliyu Ummasalma., G. H. 2018. *Received: 26*. 3(1), 81–86.
- Mu'minah, Iim Halimatul, and Ipin Aripin. 2019. “Implementasi STEM Dalam Pembelajaran Abad 21.” In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan*, 1:1495–1503.
- Nur Fuad Abdullah. 2012. *Cara Berpikir Sistem*. Artikel diambil dari ([share.its.ac.id/mod/resource/view.php?id=6240](http://share.its.ac.id/mod/resource/view.php?id=6240))
- Nuraeni, R., Setiono, & Aliyah, H. 2020. Analisis Kemampuan Berpikir Sistem Siswa Kelas XI SMA pada Materi Sistem Pernapasan Manusia. *Jurnal. Pedagogi Hayati*, 4(1). 1-9.
- Nurhilal, O., & Lesmana, S. 2020. Pemanfaatan Eceng Gondok Sebagai Adsorben Pb Asetat. In *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika* (Vol. 04, Issue 01).
- OECD. 2023. *Programme for international student assesment (PISA) results from PISA 2022*. OECD Publishing.
- Purwaningsih, E., S. P. Sari, A. M. Sari, and A. Suryadi. 2020. “The Effect of

- Stem-Pjbl and Discovery Learning on Improving Students' Problem-Solving Skills of the Impulse and Momentum Topic." *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 9 (4): 465–76. <https://doi.org/10.15294/jpii.v9i4.26432>.
- Putri, D. A., Saputro, R. R., & Budiyo. 2012. Biogas production from cow manure. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 61–64. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.2.61-64>
- Putri, C. D., Pursitasari, I. D., & Rubini, B. 2020. Problem based learning terintegrasi STEM di era pandemi covid-19 untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. *JUPI (Jurnal IPA & Pembelajaran IPA)*, 4(2), 193-204.
- Rahmania, I. 2021. Project Based Learning (PjBL) Learning Model with STEM Approach in Natural Science Learning for the 21st Century. *Budapest International Research and Critics Institute (BIRCI-Journal): Humanities and Social Sciences*, 4(1), 1161–1167. <https://doi.org/10.33258/birci.v4i1.1727>
- Saefullah, Asep, Andri Suherman, R Utami, Ganesha Antarnusa, Diana Ayu Ros-tikawati, and Robby Zidny. 2021. "Implementation of PjBL-STEM to Improve Students' Creative Thinking Skills on Static Fluid Topik." *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika* 6 (2): 149–57.
- Samsudin, M. A., Jamali, S. M., Zain, A. N. M., & Ebrahim, N. A. 2020. The effect of STEM Project Based Learning on Self-Efficacy Among High-School Physics Students. *Journal of Turkish Science Education*, 17(1), 94–108.
- Santoso, B., Warsono, U., Seseray, Y., Purwaningsih. 2020. Pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber energi biogas di kabupaten teluk bintuni provinsi papua barat. *Journal pengabdian pada masyarakat*. Volume 26 No. 3,
- Sastrika, K. A. I., Sadia, W. I., dan Muderawan, W. I., 2013. "Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Proyek Terhadap Pemahaman Konsep Kimia dan Keterampilan Berpikir Kritis". *E-Journal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha Program Studi IPA*, Vol 3. 2013
- Schuler, S., Fanta, D., Rosenkraenzer, F., & Riess, W. 2017. Systems thinking within the scope of education for sustainable development (ESD) – a heuristic competence model as a basis for (science) teacher education. *Journal of Geography in Higher Education*, 8265, 1– 13
- Simamora, S., Saludik, S., Wahyu, S. 2006 *Membuat Biogas Pengganti Minyak dan Gas dari Kotoran Ternak* Jakarta: Agronomedi pustaka.



- Sinaga, P. H., Suanggana, D., & Haryono, H. D. 2022. Analisis Produksi Biogas Sebagai energi alternatif pada kompor biogas menggunakan campuran kotoran sapi dan ampas tahu. *JTT Jurnal Teknologi Terapan*, (1),61.
- Struk, M., Kushkevych, I., & Vítězová, M. 2020. Biogas upgrading methods: recent advancements and emerging technologies. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19(3), 651–671. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09539-9>
- Sudarti, A. H. 2022. *Analisis Berbagai Sampah Organik Sebagai Energi Alternatif Biogas Terbarukan*.
- Suharno, S., Tanjung, R. H. R., Nugroho, W. D., & Komari, K. 2023. Desain dan Teknologi Pengembangan Sistem Pengelolaan Agroindustri Peternakan Sapi Berbasis Pendidikan Pondok Pesantren. *Surya Abdimas*, 7(2), 338–347. <https://doi.org/10.37729/abdimas.v7i2.2889>
- Sudjana. 2005. *Metode Statistika*. Tarsito.
- Sugiyono. 2019. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabet.
- Tasnim, F., Iqbal, S. A., & Chowdhury, A. R. 2017. Biogas production from anaerobic co-digestion of cow manure with kitchen waste and Water Hyacinth. *Renewable Energy*, 109(February), 434–439. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.044>
- 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, H. M. H. M. M. Abd. K. E. 2020. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuat Biogas. *Maspul Journal Of Community Empowerment*, 1(1), 13–20.
- Vachliotis, T., Salta, K., & Tzougraki, C. 2021. Developing basic systems thinking skills for deeper understanding of chemistry concepts in high school students. *Thinking Skills and Creativity*, 41, 100881.
- Wahyuni, S. 2011. *Biogas Energi Terbarukan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan*. Jakarta.
- Wahyuni, S. 2013. *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas, dan Listrik*. PT. Agro Media Pustaka. Jakarta Selatan. 117 hlm.
- Wahyuni, S. 2015. *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya. Jakarta Timur. 116 hlm.
- Wang, H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. 2011. STEM Integration: Teacher Perceptions and Practice STEM Integration: Teacher Perceptions

and Practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2), 1–13. <https://doi.org/10.5703/1288284314636>

Widiyanto, A.(2013). *Statistika Terapan* . Jakarta: PT. Elex Media

York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. 2019. Applications of Systems Thinking in STEM Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12).2742-2751

Zoller, U., & Nahum, T. L. 2011. From teaching to ‘know’-to learning to ‘think’ in science education. The LOCS-to-HOCS paradigm shift: ‘how to do it’. *Second handbook of science education*, 1, 209-229.

Zoller, U., & Nahum, T. 2012. From teaching to KNOW to learning to 'Think' in science education In: Freser, B., Tobin, K., McRobbie, C, (eds), 2nd *International Handbook of Science Education*. 1(16). pp. 209–330. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_16).