

**EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS PROYEK PENGOLAHAN
LIMBAH DAUN KERING UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN
*SUSTAINABILITY LITERACY***

(Skripsi)

**Oleh
DWI RAHAYU
NPM 2213022071**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS PROYEK PENGOLAHAN LIMBAH DAUN KERING UNTUK MELATIHKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN *SUSTAINABILITY LITERACY*

Oleh

DWI RAHAYU
NPM 2213022071

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering untuk melatih keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* peserta didik pada materi energi alternatif. Penelitian ini dilakukan di SMAN 1 Tanjung Sari menggunakan metode quasi eksperimen dengan desain *one group pretest-Posttest* yang melibatkan dua kelas eksperimen yaitu kelas eksperimen 1 dan kelas eksperimen 2. Instrumen penelitian berupa *Pretest* dan *Posttest* yang mengacu pada hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan antara nilai *Pretest* dan *Posttest* pada keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* dengan ($\text{sig} < 0,05$). Perhitungan *N-Gain* keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* menunjukkan peningkatan dan berkategori tinggi untuk kedua kelas eksperimen. Hasil uji perbedaan One Way Anova berdasarkan rata-rata *N-Gain* keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* per gaya belajar menunjukkan nilai signifikansi $> 0,05$ yang artinya tidak ada perbedaan *N-Gain* yang signifikan antar peserta didik berdasarkan gaya belajar visual, auditori, dan kinestetik. Hasil *N-Gain* keterampilan berpikir kritis per Gaya belajar sebesar 0,74 pada gaya belajar auditori. Sedangkan hasil *N-Gain sustainability literacy* per Gaya belajar sebesar 0,77 pada gaya belajarkinestetik. Dengan demikian, LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering efektif dalam melatih keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy*.

Kata Kunci: LKPD berbasis proyek, pengolahan limbah daun kering, keterampilan berpikir kritis, *sustainability literacy*, gaya belajar.

ABSTRAK

THE EFFECTIVENESS OF LKPD BASED ON DRY LEAF WASTE PROCESSING PROJECTS TO TRAIN CRITICAL THINKING SKILLS AND SUSTAINABILITY LITERACY

By

**DWI RAHAYU
NPM 2213022071**

This study aims to determine the effectiveness of LKPD based on dry leaf waste processing project to train critical thinking skills and sustainability literacy of students on alternative energy material. This study was conducted at SMAN 1 Tanjung Sari using a quasi-experimental method with a one group pretest-posttest design involving two experimental classes, namely experimental class 1 and experimental class 2. The research instrument in the form of Pretest and Posttest referring to the results of the paired sample t-test showed a significant increase between the Pretest and Posttest scores on critical thinking skills and sustainability literacy with ($\text{sig} < 0.05$). The calculation of N-Gain of critical thinking skills and sustainability literacy showed an increase and was categorized as high for both experimental classes. The results of the One Way Anova difference test based on the average N-Gain of critical thinking skills and sustainability literacy per learning style showed a significance value > 0.05 , which means there was no significant difference in N-Gain between students based on visual, auditory, and kinesthetic learning styles. The results of N-Gain of critical thinking skills per learning style were 0.74 in the auditory learning style. Meanwhile, the N-Gain result for sustainability literacy per learning style was 0.77 for the kinesthetic learning style. Thus, the student worksheet based on the dry leaf waste processing project is effective in training critical thinking skills and sustainability literacy.

Keyword : Project-based LKPD, dry leaf waste processing, critical thinking skills, sustainability literacy, learning styles.

**EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS PROYEK PENGOLAHAN
LIMBAH DAUN KERING UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN
*SUSTAINABILITY LITERACY***

Oleh

DWI RAHAYU

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PENDIDIKAN

Program Studi Pendidikan Fisika
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : **EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS
PROYEK PENGOLAHAN LIMBAH DAUN
KERING UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN
SUSTAINABILITY LITERACY**

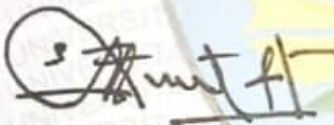
Nama Mahasiswa : **Dwi Rahayu**


Nomor Pokok Mahasiswa : **2213022071**

Program Studi : **Pendidikan Fisika**

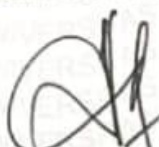
Fakultas : **Keguruan dan Ilmu Pendidikan**




Prof. Dr. Kartini Herlina, M.Si.
NIP 19650616 199102 2 001


Ryna Aulia Falamy, S.Pd., M.Si.P.
NIP 19940619 20240 6 2001

2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA

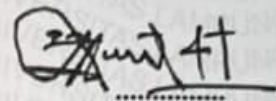

Dr. Nurhanurawati, M.Pd.
NIP 19670808 199103 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Dr. Kartini Herlina, M.Si.



Sekretaris

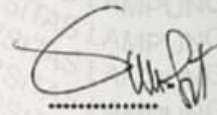
: Ryna Aulia Falamy, S.Pd., M.Si.P



Penguji

Bukan Pembimbing

: Prof. Dr. Agus Suyatna, M. Si.



Dekan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Dr. Albert Maydiantoro, S.Pd., M.Pd.

NIP 19870504 201404 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 07 Mei 2026

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah:

Nama : Dwi Rahayu
NPM : 2213022071
Program Studi : Pendidikan Fisika
Fakultas/Jurusan : KIP/Pendidikan MIPA
Alamat : Sidomukti Muara Putih, Kec. Natar, Kab. Lampung
Selatan, Prov. Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa, dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu 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 ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 07 Mei 2026



Dwi Rahayu
NPM 2213022071

RIWAYAT

Penulis skripsi ini bernama lengkap Dwi Rahayu, dilahirkan di Desa Sidomukti, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan pada tanggal 08 juli 2002 merupakan putri ketujuh (bungsu) dari pasangan Bapak Seno dan Ibu Suparmi. Penulis mengawali pendidikan formal pada tahun 2009 sebagai peserta didik di SDN Pancasila dan lulus pada tahun 2015. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan formal ke jenjang sekolah pertama di SMP Negeri 2 Natar pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2018. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan formal ke jenjang sekolah menengah atas di SMAN 1 Kibang pada tahun 2018 dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis tidak langsung melanjutkan pendidikan formal, melainkan penulis bekerja ditoko baju. Kemudian pada tahun 2022 penulis diterima dan terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh pendidikan sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika, penulis aktif dalam berbagai macam kegiatan organisasi. Penulis pernah menjadi anggota EKSAKTA MUDA HIMASAKTA pada tahun 2022, dan anggota Divisi Kerohanian dari HIMASAKTA FKIP UNILA pada tahun 2023-2024. Penulis pernah menjadi anggota Divisi Pendidikan di ALMAFIKA FKIP UNILA pada tahun 2022 dan anggota Divisi Sosial Humaniora pada tahun 2023-2026. Penulis juga pernah melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2025 di Tiyuh Cahyou Randu, Kecamatan Pagar Dewa, Kabupaten Tulang Bawang Barat. Kegiatan KKN tersebut bersamaan dengan pelaksanaan Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) 1 dan 2 yang dilaksanakan di SMA Negeri 1 Pagar Dewa.

MOTTO

“Semua jatuh bangunmu hal yang biasa, angan dan pertanyaan waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu bersedihlah secukupnya, rayakan perasaanmu sebagai manusia.”

(Baskara Putra Hindia)

“Selesaikan apa yang telah dimulai dan tetap berperang teguh pada prinsip hidup yang baik.”

(Dwi Rahayu)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, dengan mengucapkan syukur atas kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, serta shalawat beriring salam selalu terucap kepada Nabi Muhammad SAW. Bersama rasa syukur yang mendalam dan dengan rendah hati, penulis mempersembahkan karya tulis ini sebagai wujud tanggung jawab dalam menyelesaikan pendidikan, serta sebagai wujud penghormatan dan tanda bukti sayang nan tulus kepada:

1. Kepada orang tua penulis tercinta, Bapak Seno dan Ibu Suparmi. Bapak dan Ibu yang meskipun tidak berkesempatan menempuh pendidikan hingga perguruan tinggi dan hanya mengenyam pendidikan dasar, telah menunjukkan kerja keras, keteguhan, serta memberikan motivasi dan dukungan tanpa henti sehingga penulis mampu menyelesaikan masa perkuliahan ini.
2. Kepada kakak-kakak kandung tercinta penulis yaitu Kustini, Sumiarseh, Sumarni, Sumarti, Suryati, dan Sus Priyana yang memberikan dukungan kepada penulis, memotivasi penulis, dan bersedia menjadi tempat curhat dan keluh kesah penulis dalam menjalani masa perkuliahan.
3. Keluarga besar yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
4. Sahabat dan teman-teman yang selalu setia mendampingi selama perjalanan dan perjuangan penulis dalam menyelesaikan pendidikan.
5. Para pendidik yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman, serta senantiasa memberikan bimbingan terbaik kepada penulis dengan tulus dan ikhlas.
6. Keluarga besar Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Lampung.
7. Almamater tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur atas kehadiran Allah SWT. yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Efektivitas LKPD Berbasis Proyek Pengolahan Limbah Daun Kering untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis dan *Sustainability Literacy*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Fisika di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa terdapat bantuan dari berbagai pihak dalam proses penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Lusmeilia Afriani, D.E.A., L.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Albet Maydiantoro, S.Pd., M.Pd. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan ilmu pendidikan Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Nurhanurawati, M.Pd., selaku ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Viyanti, S.Pd., M.Pd., selaku ketua Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung.
5. Prof. Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku Pembimbing 1, atas kesediaan dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
6. Ryna Aulia Falamy, S.Pd., M.Si.P. selaku pembimbing akademik sekaligus pembimbing 2 yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan keikhlasan hati serta memberikan dukungan sehingga proses ini terasa lebih ringan. Terima kasih atas waktu, pemikiran, dan motivasi yang begitu berharga.

7. Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si., selaku pembahas yang selalu memberikan arahan dan saran untuk perbaikan skripsi ini.
8. Bapak dan Ibu dosen, serta staf Program Studi Pendidikan Fisika dan Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung yang telah membimbing penulis selama proses perkuliahan.
9. Ibu Mei Linawati, S.Pd., M.M., selaku Kepala SMA Negeri 1 Tanjung Sari yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan penelitian.
10. Ibu Khadijah Anggraini, S.Pd., selaku guru mata pelajaran fisika SMA Negeri 1 Tanjung Sari yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis selama penelitian berlangsung.
11. Peserta didik kelas X. Merdeka 1 dan X. Merdeka 2 SMA Negeri 1 Tanjung Sari telah membantu dan bekerja sama selama penelitian berlangsung.
12. Sahabat seperjuangan selama perkuliahan yaitu (Manusia Baik) Mega, Fita, Rizka, Risyania dan Mila yang sudah seperti keluarga walaupun pertemuan kita singkat, namun selalu membuat perjalanan perkuliahan ini lebih menyenangkan dan bermakna.
13. Sahabat tersayang Mega Miftahul Jannah dan SuryaJevik Riyandi, yang selalu saling memberikan canda tawa, kebahagiaan, kekuatan, tempat curhat dan kalian juga suka memberikan kekesalan untuk penulis. Tetapi percayalah kalian berdua yang selalu memberikan kebahagiaan kepada penulis selama perkuliahan.
14. Teman-teman seperbimbingan akademik ibu Kartini, yaitu Dwi Pratiwi, Mila, Adinda, Nadia, dan Kharinta yang telah menjadi teman *sharing group* skripsi dan selalu memberikan motivasi dan dukungan satu sama lain.
15. Teman KKN Tiyuh Cahyou Randu.
16. Semua pihak yang membantu penyelesaian penyusunan skripsi ini.

Bandar Lampung, 07 Mei 2026

Dwi Rahayu
NPM 2213022071

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Ruang Lingkup	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kajian Teori.....	8
2.1.1 Lembar Kerja Peserta Didik	8
2.1.2 PjBL-STEM.....	9
2.1.3 Keterampilan Berpikir Kritis	11
2.1.4 <i>Sustainability Literacy</i>	15
2.1.5 Gaya Belajar	16
2.1.6 Teori Belajar Konstruktivisme Sosial	19
2.1.7 Teori Belajar Ausubel.....	20
2.1.8 <i>Ill-Structured Problem</i>	21
2.1.9 <i>Well Structured Problem</i>	22
2.1.10 <i>Problem Solving</i>	23
2.1.11 Limbah Daun Kering	24
2.1.12 <i>Alternatif Fuel</i>	25
2.2 Penelitian Relevan	27
2.3 Hipotesis Penelitian	29
2.4 Kerangka Pemikiran	29
III. METODE PENELITIAN	32
3.1 Pelaksanaan Penelitian	32
3.2 Populasi dan Sampel Penelitian	32
3.3 Variabel Penelitian	32
3.4 Jenis dan Desain Penelitian	33
3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	38
3.6 Instrumen Penelitian.....	39

3.7 Analisis Instrumen Penelitian.....	39
3.7.1 Uji Validitas.....	39
3.7.2 Uji Reliabilitas.....	41
3.8 Teknik Pengumpulan Data.....	42
3.8.1 Teknik Pengumpulan Data Hasil Belajar.....	42
3.8.2 Analisis Keterlaksanaan LKPD.....	43
3.9 Teknik Analisis Data.....	45
3.9.1 Hitung N-Gain.....	45
3.9.2 Uji Normalitas.....	46
3.9.3 Uji Homogenitas.....	46
3.9.4 Uji Hipotesis.....	46
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Hasil Penelitian.....	49
4.1.1 Data Nilai Keterampilan Berpikir Kritis.....	49
4.1.2 Data Nilai <i>Sustainability Literacy</i>	50
4.1.3 Uji Hipotesis.....	54
4.2 Pembahasan.....	58
4.2.1 Keterampilan BerpikirKritis.....	58
4.2.2 <i>Sustainability Literacy</i>	71
4.2.3 Analisis Keterlaksanaan LKPD Berbasis Proyek Pengolahan Limbah Daun Kering.....	82
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	109
5.1 Kesimpulan.....	109
5.2 Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA.....	111
LAMPIRAN.....	120

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Indikator Keterampilan Berpikir Kritis	12
Tabel 2. Indikator <i>Sustainability Literacy</i>	15
Tabel 3. Instrumen Gaya Belajar Siswa	18
Tabel 4. Penelitian Relevan	27
Tabel 5. Desain Penelitian	34
Tabel 6. Interpretasi koefisien uji validitas	40
Tabel 7. Hasil Uji Validitas Instrumen Keterampilan Berpikir Kritis.....	40
Tabel 8. Hasil Uji Validitas Instrumen <i>Sustainability Literacy</i>	41
Tabel 9. Interpretasi uji reliabilitas.....	42
Tabel 10. Hasil Uji reliabilitas instrumen Keterampilan Berpikir Kritis dan <i>Sustainability Literacy</i>	42
Tabel 11. Kriteria Keterlaksanaan LKPD	43
Tabel 12. Hasil LKPD Berbasis Proyek pada Indikator Keterampilan Berpikir Kritis.....	44
Tabel 13. Hasil LKPD Berbasis Proyek pada Indikator <i>Sustainability Literacy</i> .	44
Tabel 14. Klasifikasi Rata-Rata N-Gain.....	45
Tabel 15. Rata-rata <i>Pretest</i> Keterampilan Berpikir Kritis.....	50
Tabel 16. Rata-rata <i>Posttest</i> Keterampilan Berpikir Kritis	50
Tabel 17. Hasil Hitung N-Gain Tiap Kelas	51
Tabel 18. Hasil Hitung <i>N-Gain</i> Tiap Indikator Keterampilan Berpikir Kritis	51
Tabel 19. Rata-Rata N-Gain Berdasarkan Gaya Belajar	52
Tabel 20 Hasil Uji Normalitas Data Keterampilan Berpikir Kritis.....	53
Tabel 21 Hasil Uji Homogenitas Keterampilan Berpikir Kritis	54
Tabel 22 Rata-rata <i>Pretest</i> <i>Sustainability Literacy</i>	54
Tabel 23 Rata-rata <i>Posttest</i> <i>Sustainability Literacy</i>	55

Tabel 24 Hasil Hitung N-Gain Tiap Kelas Sustainability Literacy.....	55
Tabel 25. Hasil Hitung N-Gain Tiap Indikator Sustainability Literacy	56
Tabel 26. <i>Rata-rata Sustainability Literacy</i> Per Gaya Belajar	56
Tabel 27. Hasil Uji Normalitas Data Sustainability Lieracy	57
Tabel 28. Hasil Uji Homogenitas Sustainability Literacy	58
Tabel 29. Hasil Paired Sample T-test Keterampilan Berpikir Kritis.....	58
Tabel 30 Hasil Uji Paired Sample T-test Sustainability Litercay.....	59
Tabel 31. Hasil Uji One Way ANOVA N-Gain Keterampilan Berpikir Kritis Berdasarkan Gaya Belajar	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kerangka Pemikiran	31
Gambar 2. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1a saat <i>Pretest</i>	68
Gambar 3. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1a <i>Posttest</i>	68
Gambar 4. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1a saat <i>Pretest</i>	69
Gambar 5. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1b saat <i>Posttest</i>	70
Gambar 6. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1c saat <i>Pretest</i>	71
Gambar 7. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1c saat <i>Posttest</i>	71
Gambar 8. Contoh jawaban peserta didik pada soal Nomor 1d saat <i>Pretest</i>	72
Gambar 9. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1 saat <i>Posttest</i>	73
Gambar 10. Contoh jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1 saat <i>Pretest</i>	74
Gambar 11. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1 saat <i>Posttest</i>	74
Gambar 12. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1a saat <i>Pretest</i>	79
Gambar 13. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1a saat <i>Posttest</i> ...	79
Gambar 14. .Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1b saat <i>Pretest</i> ...	80
Gambar 15. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1b saat <i>Posttest</i> ...	81
Gambar 16. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1c saat <i>Pretest</i>	81
Gambar 17. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 1c saat <i>Posttest</i> .	82
Gambar 18. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 2a saat <i>Pretest</i>	83
Gambar 19. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 2b saat <i>Posttest</i> ...	83
Gambar 20. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 2b saat <i>Pretest</i>	84
Gambar 21. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 2 saat <i>Posttest</i>	84
Gambar 22. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 2 saat <i>Pretest</i>	85
Gambar 23. Contoh Jawaban Peserta didik pada soal Nomor 2c saat <i>Posttest</i> ...	85
Gambar 24. Grafik Hasil Analisis Keterlaksanaan LKPD Berbasis Proyek Pengolahan Limbah Daun Kering Berbasis Model Pembelajaran PjBL-STEM.....	87

Gambar 25. Kegiatan Pada sintaks Reflection	88
Gambar 26. Kegiatan Pada Fase Reflection	89
Gambar 27. Contoh Jawaban peserta didik A pada kegiatan keterampilan berpikir kritis indikator identifikasi masalah dan pengajuan pertanyaan kritis fase Reflection	90
Gambar 28. Contoh Jawaban peserta didik B pada kegiatan keterampilan berpikir kritis indikator identifikasi masalah dan pengajuan pertanyaan kritis fase Reflection	91
Gambar 29 . Contoh Jawaban peserta didik C pada kegiatan keterampilan berpikir kritis indikator identifikasi masalah dan pengajuan pertanyaan kritis fase Reflection	92
Gambar 30. Contoh Jawaban peserta didik D pada kegiatan keterampilan berpikir kritis indikator identifikasi masalah dan pengajuan pertanyaan kritis fase Reflection	93
Gambar 31. Jawaban peserta didik A pada aspek pengetahuan Sustainability Literacy (SL).....	94
Gambar 32. Jawaban Peserta didik B pada Aspek pengetahuan Sustainability Literacy	95
Gambar 33. Jawaban Peserta didik C pada aspekpengetahuan Sustainability Literacy	95
Gambar 34. Jawaban peserta didik D pada aspek Pengetahuan Sustainability Literacy	96
Gambar 35. Kegiatan LKPD Pengolahan limbah daun kering pada sintaks Research.....	98
Gambar 36. Peserta Didik Pada sintaks Research	99
Gambar 37. Jawaban peserta didik A keterampilan berpikir kritis	100
Gambar 38. Jawaban peserta didik B keterampilan berpikir kritis mengumpulkan informasi dasar pada fase research	101
Gambar 39. Jawaban Peserta didik B keterampilan berpikir kritis mengumpulkan informasi dasar pada fase research	102
Gambar 40. Jawaban Peserta didik B pada aspek keterampilan Sustainability Literacy Fase Research	103

Gambar 41. Kegiatan LKPD Pengolahan limbah daun kering.....	104
Gambar 42. Kegiatan Peserta Didik Pada Fase Discovery.....	105
Gambar 43. Jawaban LKPD pengolahan limbah daun kering peserta didik.....	106
Gambar 44. Jawaban LKPD pengolahan limbah daun kering peserta didik pada sintaks Discovery.....	107
Gambar 45. Aktivitas pembuatan briket pada sintaks application.....	109
Gambar 46. Kegiatan pada Fase Communication.....	110
Gambar 47. Contoh Poster Peserta Didik.....	111
Gambar 48. Presentasi Peserta Didik.....	112

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 menuntut adanya inovasi dalam pembelajaran yang dapat melatih keterampilan berpikir kritis. Sejalan dengan hal tersebut, pendidikan di Indonesia memerlukan pembelajaran yang menekankan keterampilan abad ke-21 agar peserta didik memiliki kemampuan yang relevan dengan tuntutan era modern. Pada era modern ini, untuk menghadapi berbagai tantangan pembelajaran di kelas, peserta didik perlu dilatih keterampilan abad ke-21 yang mencakup 6C, yaitu *character skills, citizenship skills, collaboration skills, communication skills, creativity skills, and critical thinking skills* (Kamaruddin *et al.*, 2023). Keterampilan berpikir kritis menjadi salah satu keterampilan yang perlu di utamakan untuk di terapkan oleh peserta didik.

Keterampilan berpikir kritis pada peserta didik perlu dilakukan, karena keterampilan ini dapat membantu peserta didik dalam memecahkan berbagai masalah. Keterampilan berpikir kritis juga memungkinkan seseorang untuk menganalisis informasi secara mendalam, mengevaluasi dan mengambil keputusan secara logis dan rasional (Azka dkk., 2024). Namun, kenyataan dilapangan menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis belum berkembang secara optimal. Menurut Setiawan dkk., (2022) berpikir kritis dapat mendorong peserta didik dalam mengidentifikasi informasi masalah, merumuskan ide, membuat strategi untuk memecahkan masalah, mengevaluasi dan menyimpulkan. Maka dari itu, diperlukan upaya pembelajaran yang mampu menstimulasi peserta didik untuk berpikir kritis secara aktif dan keberlanjutan, khususnya dalam

pembelajaran sains yang berkaitan dengan permasalahan nyata melalui pemanfaatan energi alternatif.

Energi alternatif merupakan sumber daya yang berpotensi menggantikan bahan bakar fosil secara berkelanjutan (Widyasari dkk., 2024). Salah satu bentuk sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah organik (Damayanti dkk., 2021). Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan yaitu limbah daun kering. Namun, sampai saat ini limbah organik seperti daun kering masih banyak yang tidak dikelola dengan baik sehingga menumpuk dan menimbulkan pencemaran lingkungan. Limbah organik seperti daun kering biasanya hanya dibiarkan saja atau di bakar, padahal limbah daun kering memiliki potensi yang tinggi untuk dijadikan sebagai sumber energi alternatif. Seiring dengan bertambahnya kebutuhan energi pada masyarakat akibat pertumbuhan penduduk dan perkembangan aktivitas manusia, ketergantungan pada sumber energi fosil menjadi tantangan yang serius karena ketersediaan yang menipis dan tidak dapat diperbarui (Setyono dan Kiono, 2021). Kondisi ini mengharuskan adanya upaya strategis untuk memanfaatkan sumber energi yang ramah lingkungan untuk menjamin keberlanjutan pasokan energi serta mendukung tercapainya literasi keberlanjutan (*Sustainability Literacy*).

Pemanfaatan limbah daun kering sebagai briket menjadi solusi alternatif untuk mengatasi krisis energi dan masalah sampah masyarakat. Briket merupakan bahan bakar padat yang dihasilkan dari pengolahan limbah organik dan berpotensi menjadi inovasi sumber energi alternatif. Menurut Sontang dan Aisyah, (2024) limbah daun kering memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku briket ramah lingkungan yang dapat mengurangi akumulasi sampah sekaligus menyediakan bahan bakar terbarukan yang ekonomis bagi masyarakat. Pemanfaatan limbah daun kering menjadi briket tidak hanya memberikan manfaat energi, tetapi juga meningkatkan kesadaran peserta didik akan pentingnya pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan.

Pengolahan limbah daun kering menjadi briket dapat dijadikan sebagai sarana untuk menumbuhkan *Sustainability Literacy*. Literasi keberlanjutan mencakup pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang memungkinkan peserta didik memahami prinsip-prinsip keberlanjutan serta mampu menerapkannya dalam pengambilan keputusan yang bertanggung jawab dengan mempertimbangkan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi bagi generasi masa kini dan masa depan (Olsson *et al.*, 2022). Putri *et al.*, (2025) menyatakan bahwa tingkat *Sustainability Literacy* dalam dunia pendidikan masih tergolong rendah. *Sustainability Literacy* berperan dalam meningkatkan pemahaman peserta didik mengenai isu-isu terkait literasi keberlanjutan, serta memperkuat keterampilan seperti pengetahuan, kepedulian, sikap, perilaku, dan pandangan hidup terkait alam dan interaksi manusia dengan lingkungan (Qureshi, 2020). Banyak peserta didik yang belum sepenuhnya memahami konsep keberlanjutan serta dampak tindakan yang terjadi terhadap lingkungan. Maka dari itu, diperlukan adanya upaya untuk meningkatkan pemahaman tentang *Sustainability Literacy* melalui pendidikan, agar dapat melahirkan generasi muda yang peduli lingkungan serta siap menghadapi tantangan lingkungan dimasa depan.

Penelitian yang dilakukan oleh Elfeky *et al.*, (2025) menunjukkan bahwa penerapan PjBL berpengaruh terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis. Sementara itu, penelitian oleh Ayu *et al.*, (2023) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan konteks lingkungan dapat menumbuhkan *Sustainability Literacy* melalui kegiatan eksperimen dan pemecahan masalah nyata. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa model PjBL memiliki potensi besar dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis sekaligus kesadaran terhadap keberlanjutan lingkungan. Maka dari itu, penting untuk memahami lebih lanjut bagaimana penerapan model PjBL dapat dioptimalkan dalam proses pembelajaran.

Pembelajaran yang mendukung keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* yaitu pembelajaran berbasis proyek. Model *Project Based Learning - STEM* melibatkan peserta didik untuk memahami konsep-konsep dasar serta

penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Penerapan *Project Based Learning-STEM* mendorong peserta didik untuk menganalisis masalah, merancang solusi, melakukan eksperimen, serta mengevaluasi hasil secara sistematis sehingga menerapkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah (Dewi *et al.*, 2023). Menurut Draghici, (2019) pembelajaran berbasis proyek sejalan dengan tujuan *education for sustainable development* yang menekankan pentingnya pemahaman hubungan antara aktivitas manusia dan lingkungan. Penerapan PjBL-STEM dapat meningkatkan literasi lingkungan peserta didik (Pertiwi *et al.*, 2024). PjBL-STEM juga memperkuat kesadaran dan sikap keberlanjutan melalui isu-isu pembangunan keberlanjutan dalam proses pembelajaran.

LKPD berfungsi sebagai sarana pembelajaran yang dirancang untuk meningkatkan efektivitas dan daya tarik pembelajaran melalui penyajian aktivitas belajar yang terstruktur dan berpusat pada peserta didik (Retnaningsih., 2023). Penggunaan LKPD dalam proses pembelajaran mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis karena peserta didik dilatih untuk mengidentifikasi masalah, merumuskan hipotesis, mengumpulkan serta menganalisis data, dan menyajikan hasil berdasarkan bukti yang diperoleh (Facione., 2015). Agar pemanfaatan LKPD lebih optimal dalam menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* sebagai kompetensi abad ke-21, LKPD perlu diintegrasikan dengan model pembelajaran yang menekankan pemecahan masalah nyata dan pembelajaran bermakna (Putri *et al.*, 2025). Salah satu model pembelajaran yang relevan untuk diintegrasikan dengan LKPD adalah *Project-Based Learning* (PjBL)–STEM, yang mengombinasikan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika dalam proses pembelajaran kontekstual (Diana *et al.*, 2021). Model PjBL–STEM memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengeksplorasi pengetahuan secara mandiri maupun kolaboratif melalui kegiatan perencanaan, eksperimen, dan pembuatan produk sebagai hasil akhir pembelajaran (Muyassaroh *et al.*, 2022).

Penelitian terkait LKPD berbasis proyek pernah dilakukan oleh Farhana (2025) yang mengembangkan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering

untuk melatih keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa LKPD yang dikembangkan tergolong sangat valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*. Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada kelompok kecil dan pengembangan media pembelajarannya. Maka dari itu, penggunaan LKPD dalam pembelajaran fisika dapat diterapkan dengan model pembelajaran berbasis proyek dalam melatih keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka terdapat beberapa rumusan masalah penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana efektivitas LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering untuk melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik SMA pada materi energi alternatif?
2. Bagaimana efektivitas LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering untuk *Sustainability Literacy* peserta didik SMA pada materi energi alternatif?
3. Apakah LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering sama efektivitasnya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik berdasarkan gaya belajar?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dituliskan diatas, maka tujuan yang terdapat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui efektivitas LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering untuk melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik SMA pada materi energi alternatif.
2. Mengetahui efektivitas LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering terhadap *Sustainability Literacy* peserta didik SMA pada materi energi alternatif.

3. Mengetahui kesamaan efektivitas LKPD dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik yang gaya belajarnya berbeda.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan peneliti dalam melakukan penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi Peserta Didik

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui sejauh mana penggunaan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering yang telah dikembangkan oleh Farhana (2025) sebelumnya efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*. Melalui penerapan LKPD ini, peserta didik diharapkan lebih aktif, kreatif, dan memiliki kepedulian terhadap pengolahan limbah serta kelestarian lingkungan.

2. Bagi Pendidik

Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi guru dalam memilih dan menerapkan LKPD berbasis proyek yang telah ada sebagai media pembelajaran yang efektif untuk melatih keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*, serta menyesuaikan dengan karakteristik gaya belajar peserta didik.

3. Bagi Peneliti Lainnya

Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk studi lanjutan yang menerapkan LKPD berbasis proyek pada tema atau materi lainnya, serta dengan pendekatan keterampilan lain.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. LKPD yang digunakan yaitu LKPD berbasis proyek limbah daun kering yang dirancang untuk melatih keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik, sebagaimana yang dikembangkan oleh Farhana (2025).
2. Menggunakan materi energi alternatif pada kurikulum merdeka.

3. Penelitian ini berdasarkan sintak atau tahapan dari model pembelajaran *Project Based Learning-STEM* menurut Rush (2010) yaitu refleksi, penelitian, penemuan, aplikasi, dan komunikasi.
4. Indikator keterampilan berpikir kritis menggunakan mengidentifikasi masalah nyata dan mengajukan pertanyaan kritis, mengumpulkan informasi untuk menyelesaikan masalah, membuat keputusan dengan informasi klarifikasi dan analisis lebih lanjut jika diperlukan, Membuat dan mengomunikasikan keputusan terbaik (Ennis dan Norris, 1997). Sedangkan indikator *Sustainability Literacy* menurut Décamps *et al.*, (2017) yaitu mencakup pengetahuan, keterampilan, dan sikap peserta didik.
5. Tempat penelitian dilakukan di SMAN 1 Tanjung Sari dengan dua kelas yaitu kelas eksperimen satu (X.1) dan kelas eksperimen dua (X.2).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Lembar Kerja Peserta Didik

Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) merupakan bahan ajar yang dirancang untuk membimbing peserta didik melakukan aktivitas belajar secara sistematis dan terarah (Mubharokh *et al.*, 2023). Penggunaan LKPD dalam pembelajaran dapat meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik karena memuat tugas-tugas yang menuntut partisipasi langsung dalam proses belajar (Fadillah *et al.*, 2025). LKPD juga berfungsi sebagai sarana untuk memfasilitasi peserta didik dalam memperoleh informasi, mengolah data, serta menarik kesimpulan berdasarkan aktivitas yang dilakukan (Retna 2023).

LKPD berbasis proyek mengacu pada model *Project-Based Learning* (PjBL) yang menekankan pembelajaran melalui penyelesaian proyek yang kontekstual dan bermakna (Hakim *et al.*, 2025). Model PjBL mendorong peserta didik untuk belajar secara aktif melalui proses perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi proyek yang berkaitan dengan permasalahan nyata (Susiwati *et al.*, 2020). Menurut Alda *et al.*, (2025) pembelajaran berbasis proyek terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi karena menuntut peserta didik untuk melakukan analisis dan refleksi secara mendalam.

Model PjBL-STEM menjadikan pembelajaran lebih komprehensif karena mengaitkan berbagai disiplin ilmu dalam satu kesatuan pemecahan masalah (Lina dan Amidi., 2023). Model STEM menekankan penerapan konsep sains, teknologi, rekayasa, dan matematika secara terpadu untuk menyelesaikan permasalahan kontekstual (Ardiansyah dan Asikin., 2019).

Penerapan LKPD berbasis proyek PjBL–STEM dalam pembelajaran pengolahan limbah daun kering menghadirkan permasalahan lingkungan yang dekat dengan kehidupan sehari-hari peserta didik (Hussim *et al.*, 2024). Limbah daun kering merupakan salah satu bentuk limbah organik yang berpotensi menimbulkan masalah lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Lee *and* Lee 2025). Pembelajaran berbasis konteks lingkungan yang mengaitkan isu-isu lingkungan nyata dengan materi sains secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep sains peserta didik sekaligus menumbuhkan kepedulian dan karakter peduli lingkungan, karena pendekatan ini mengintegrasikan pengalaman nyata siswa dengan materi ajar secara bermakna (Ashlan *and* Firayani., 2025).

2.1.2 PjBL-STEM

Model pembelajaran berbasis proyek (PjBL) merupakan suatu model pembelajaran yang menyangkut pemusatan pertanyaan dan masalah bermakna, pemecahan masalah, pengambilan keputusan, proses pencarian berbagai sumber, pemberian kesempatan kepada peserta didik untuk bekerja secara kolaborasi, dan menutup dengan persentasi produk nyata. Model pembelajaran berbasis proyek berfokus pada konsep dan prinsip inti dari suatu disiplin studi, memfasilitasi peserta didik untuk berinvestigasi, pemecahan masalah, dan kegiatan tugas-tugas bermakna yang lain, dan berpusat pada peserta didik dan menghasilkan produk nyata (Markula *and* Aksela., 2022). Sehingga peserta didik dapat terlibat secara penuh dalam proses pembelajaran. Menurut (Purwaningsih *et al.*, 2020) meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, kolaborasi, dan motivasi peserta didik merupakan beberapa manfaat dari PjBL, selain itu peserta didik juga dapat menikmati pembelajaran yang diberikan.

Pengembangan PjBL kemudian diarahkan pada penggabungan dengan pendekatan STEM agar terjadi integrasi antara keterampilan dan konten di era abad ke-21 (Effendi *and* Yoto 2024). Haq *et al.*, (2025) mengatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan model PjBL-STEM meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam proses belajar, termasuk keterlibatan kognitif dan partisipasi aktif

siswa dalam kegiatan pembelajaran. Pembelajaran PjBL-STEM mencakup penerapan sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam memahami suatu topik (Hafni *et al.* 2020).

Kegiatan pembelajaran model PjBL-STEM biasanya dilakukan oleh peserta didik di luar kelas, dengan diberikan LKPD sebagai panduan. Selama proses pembelajaran, peserta didik secara rutin berkonsultasi dengan guru terkait rencana, kemajuan, dan kendala proyek. Guru berperan sebagai fasilitator, penasihat, pembimbing, dan pengawas bagi peserta didik. Penerapan PjBL-STEM menjadikan proses pembelajaran kontekstual terintegrasi, dan mendorong keterlibatan aktif peserta didik dalam menghasilkan solusi kreatif terhadap permasalahan nyata (Pertiwi *et al.*, 2025). Pembelajaran berbasis proyek menurut Rush (2010) PjBL-STEM terdiri dari lima tahapan yaitu diantaranya:

1. Refleksi (*Reflection*)

Tahap ini bertujuan untuk mengarahkan peserta didik dalam mengidentifikasi permasalahan secara mendalam. Selain itu, tahap ini juga berfungsi untuk mengaitkan pengetahuan yang telah dimiliki peserta didik dengan informasi baru yang perlu dipelajari.

2. Riset/ Penelitian (*Research*)

Tahap ini merupakan kegiatan penelitian yang dilakukan oleh peserta didik dengan topik permasalahan yang ditentukan. Aktivitas pada tahap ini dapat berupa kegiatan eksperimen, pembelajaran sains yang dipandu oleh guru, penelusuran literatur, maupun berbagai cara lain untuk mengumpulkan informasi yang relevan. Dalam prosesnya, peserta didik diberikan keleluasaan untuk melakukan riset secara mandiri dengan memanfaatkan berbagai sumber belajar seperti buku, internet, serta referensi lain yang mendukung kebutuhan investigasi mereka.

3. Penemuan (*Discovery*)

Tahap penemuan berfungsi sebagai penghubung antara hasil penelitian dan pengetahuan yang telah diperoleh dengan kebutuhan pelaksanaan proyek. Pada tahap ini, peserta didik biasanya dibagi ke dalam kelompok kecil untuk

berkolaborasi dalam merumuskan serta menemukan solusi atas permasalahan yang dihadapi. Setiap kelompok kemudian mendiskusikan dan mempresentasikan hasil temuan mereka sebagai bagian dari proses pembelajaran berbasis proyek.

4. Penerapan (*Application*)

Tahap ini bertujuan untuk mengembangkan atau memodelkan solusi yang dianggap mampu menyelesaikan permasalahan yang telah dirumuskan. Dalam prosesnya, peserta didik melakukan pengujian terhadap model atau rancangan yang telah dibuat untuk memastikan kesesuaiannya dengan kriteria atau persyaratan yang telah ditetapkan sebelumnya. Apabila hasilnya belum memenuhi standar yang diharapkan, peserta didik diberi kesempatan untuk melakukan revisi atau penyempurnaan terhadap model yang telah dirancang.

5. Komunikasi (*Communication*)

Tahap terakhir merupakan proses penyampaian atau presentasi hasil model dan solusi yang telah dikembangkan kepada peserta lain. Tahap ini memiliki peran penting karena dapat melatih kemampuan komunikasi dan kolaborasi peserta didik, sekaligus menumbuhkan sikap terbuka terhadap masukan serta kemampuan untuk mengadaptasi dan memperbaiki hasil berdasarkan umpan balik yang diberikan oleh pihak lain.

2.1.3 Keterampilan Berpikir Kritis

Berpikir kritis menekankan pada pemikiran yang rasional dan reflektif dalam proses pengambilan keputusan mengenai apa yang harus diyakini dan dilakukan. Berpikir kritis melibatkan pengujian, mempertanyakan, menghubungkan, dan mengevaluasi berbagai aspek dalam sebuah situasi atau masalah (Sari *et al.*, 2022). Kemampuan berpikir kritis sangat penting menghadapi tantangan kehidupan. Berpikir kritis juga memiliki dimensi dialogis, dimana seorang terlibat dialog eksploratif yang bermanfaat, mengajukan gagasan, menyelidiki penyebab, mempertimbangkan wawasan dan bukti dari materi, serta menguji dan menganalisis berbagai perspektif (Ariadila *et al.*, 2023).

Kemampuan berpikir kritis adalah keterampilan yang diperlukan individu untuk menghadapi berbagai tantangan, baik dalam kehidupan bermasyarakat maupun pribadi. Dalam upaya tersebut diperlukan perbaikan strategi pembelajaran, termasuk penerapan model pembelajaran yang diharapkan dapat memudahkan peserta didik dalam berpikir kritis dan mengasah kemampuan pemecahan masalah, sehingga hasil yang dicapai lebih optimal. Kemampuan berpikir kritis mencakup kemampuan untuk melakukan klarifikasi mendasar, dasar dalam mengambil keputusan, membuat kesimpulan, memberikan penjelasan lebih rinci, melakukan perkiraan, mengintegrasikan informasi, serta kemampuan lainnya (Sari *et al.*, 2022).

Pembelajaran yang berfokus pada guru adalah pendekatan yang kurang mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Mengatasi tantangan ini serta membantu peserta didik mengembangkan keterampilan berpikir, model pembelajaran berbasis royek yang baik digunakan (Fitriyah *and* Ramadani., 2021). Pembelajaran ini mengharuskan peserta didik untuk membuat proyek yang berkaitan dengan mata pelajaran, yang biasanya berupa petunjuk umum yang diberikan oleh guru. Menurut definisi tersebut, keterampilan berpikir kritis merupakan proses berfikir reflektif yang didasarkan pada informasi yang tersedia dengan menganalisis permasalahan dan menggunakan penalaran untuk mennetukan apa yang diyakini dan dilakukan. Indikator keterampilan berpikir kritis yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada pendapat menurut Ennis dan Noris dalam (Stigins,1997), yang indikatornya tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

Indikator Berpikir Kritis	Sub Indikator	Aktivitas	
		Pendidik	Peserta Didik
(1)	(2)		
Melakukan klasifikasi dasar terhadap masalah	Kemampuan peserta didik mengenali isu atau permasalahan yang relevan dalam konteks nyata serta mengajukan pertanyaan yang menantang untuk	Pendidik mengorientasikan peserta didik kepada permasalahan yang timbul tentang pemanfaatan limbah daun kering	Peserta didik mengidentifikasi masalah berdasarkan wacana yang disajikan Peserta didik menuliskan informasi yang dapat dikemukakan dari

	mengali lebih dalam		wacana yang disajikan Peserta didik menuliskan informasi yang perlu dicari untuk menyelesaikan masalah dari wacana teks, video, dan
Mengumpulkan Informasi dasar	Keterampilan mencari, memilih, dan mengorganisasi data atau informasi yang dibutuhkan untuk merumuskan solusi terhadap suatu masalah	Pendidik membebaskan peserta didik untuk mencari informasi tambahan dari berbagai	Peserta didik mencari informasi dari berbagai sumber mengenai pemanfaatan limbah daun kering sebagai bahan pembuatan briket dan prinsip kerja briket sebagai energi alternatif
Membuat keputusan dengan informasi yang tersedia	Kemampuan mengambil keputusan secara logis dan rasional berdasarkan bukti atau data yang telah dikumpulkan, meskipun informasi tersebut terbatas	Guru membagi siswa kedalam kelompok kecil untuk mendiskusikan terkait solusi yang bisa menjawab permasalahan yang timbul tentang	Peserta didik mulai mendiskusikan bersama kelompok untuk Menentukan judul proyek Membuat rumusan asmasalah Menuliskan gagasan tentang tujuan proyek yang akan dilakukan dalam rangka menyelesaikan masalah limbah daun kering Menentukan tanggal periode proyek Menentukan variabel-variabel penelitian Menentukan dan menuliskan prosedur yang akan dilakukan
Membuat keputusan informasi yang tersedia dan mengidentifikasi asumsi	Kesiapan untuk mengali informasi tambahan dan melakukan analisis mendalam jika data yang ada belum cukup menjawab permasalahan secara tuntas	Guru mendampingi peserta didik dalam proses pembuatan proyek sebagai solusi dalam permasalahan	Peserta didik menentukan dan menuliskan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pengolahan limbah daun kering Peserta didik menggambarkan desain proyek pengolahan limbah daun kering

			<p>Peserta didik menyusun jadwal berikut pembagian tugas dengan pengetahuan dari rencana proyek yang telah disusun</p> <p>Peserta didik membuat produk pengolahan daun kering sesuai dengan prosedur yang telah disusun.</p> <p>Peserta didik melengkapi tabel perubahan dan perlakuan yang menuliskan waktu pengecekan, perlakuan, dan perubahan yang terjadi.g tersedia</p>
Membuat keputusan untuk mengambil suatu tindakan	Kemampuan menyusun kesimpulan atau solusi yang penting tepat, serta menyampaikannya secara jelas dan efektif kepada pihak lain	Guru meminta peserta didik untuk mempresentasikan dan mendemonstrasikan proyek yang telah mereka buat oleh kelompok masing-masing	<p>Peserta didik mendokumentasikan setiap pelaksanaan kegiatan pembuatan proyek pengolahan limbah daun kering</p> <p>Peserta didik membuat laporan yang disusun dengan sistematis berdasarkan proyek yang telah dibuat</p> <p>Peserta didik mempresentasikan hasil proyek.</p>

(Ennis dan Norris, 1997)

Penerapan pembelajaran yang berorientasi pada keterampilan berpikir kritis dapat membantu peserta didik membiasakan diri menyusun pola pikir dan mengasah kemampuan selama proses pembelajaran, sehingga mereka mampu menyelesaikan berbagai permasalahan. Dengan demikian, peserta didik tidak hanya meningkatkan pemahaman terhadap materi pembelajaran, tetapi juga menjadi lebih siap menghadapi serta menyelesaikan berbagai permasalahan di luar lingkungan akademik.

2.1.4 Sustainability Literacy

Sustainability Literacy dapat diartikan sebagai pemahaman, keterampilan, dan pola pikir yang mendorong individu untuk berkomitmen dalam menciptakan masa depan yang berkelanjutan serta memungkinkan mereka membuat keputusan yang tepat dan efisien untuk mencapai tujuan tersebut. Berbagai aspek *Sustainability Literacy* meliputi pemahaman akan prinsip-prinsip keberlanjutan, keterampilan dalam pengambilan keputusan yang mempertimbangkan dampak jangka panjang, serta pengembangan sikap dan nilai-nilai yang mendukung tanggung jawab sosial dan lingkungan (Decamps and Aurélien., 2017). Dalam membangun individu yang memiliki *Sustainability Literacy*, dibutuhkan keterampilan yang mendukung untuk membentuk masa depan yang berkelanjutan. Kesadaran terhadap perubahan lingkungan memerlukan kemampuan untuk memahami masalah dalam konteks ekosistem manusia, politik, ekonomi, budaya, dan sosial (Ayu *et al.*, 2023).

Sustainability Literacy memberikan manfaat penting dalam menciptakan masa depan yang berkelanjutan. *Sustainability Literacy* memungkinkan individu untuk memahami dampak lingkungan dari aktivitas manusia serta melakukan tindakan keberlanjutan untuk mengurangi dampak. Peserta didik dapat memberikan kontribusinya terhadap pencapaian tujuan pembangunan keberlanjutan. Upaya mengevaluasi sejauh mana kontribusi seseorang terhadap pencapaian tujuan ini, berbagai metode penilaian seperti kuisioner, wawancara, dan pengamatan yang dapat digunakan. Adapun indikator dan sub indikator *Sustainability Literacy* dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Indikator *Sustainability Literacy*

Aspek Indikator <i>Sustainability Literacy</i>	Indikator <i>Sustainability Literacy</i>
(1)	(2)
Pengetahuan	Mampu menjelaskan konsep dasar sumber energi baik terbarukan dan tidak terbarukan
	Mampu mengklasifikasi penyebab menipisnya sumber energi tak terbarukan
	Mampu menentukan tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi/memberikan alternatif dalam mencegah kehabisan sumber energi

	Mampu menganalisis dampak sumber energi tak terbarukan yang menipis
Keterampilan	Mampu menganalisis permasalahan yang berkaitan dengan menipisnya sumber energi untuk menentukan solusi yang tepat
	Mampu menyelidiki permasalahan terkait menipisnya sumber energi tak terbarukan untuk menentukan solusi praktis
	Mampu merancang proyek yang mendukung keberlanjutan terkait menipisnya sumber energitak terbarukan
Sikap	Mampu menerapkan praktik keberlanjutan dalam mengatasi permasalahan permasalahan menipisnya sumber energi tak terbarukan
	Mampu menunjukkan kepedulian dan tanggung jawab terhadap lingkungan sekitar
	Mampu menentukan sikap yang tepat dalam menghadapi isu-isu keberlanjutan terkait menipisnya sumber energi tak terbarukan

(Décamps *et al.*, 2017)

2.1.5 Gaya Belajar

Gaya belajar merupakan karakteristik individual yang berkaitan dengan cara peserta didik menerima, memproses, dan mengelola informasi. Salah satu klasifikasi yang sering digunakan adalah model Visual, Auditory, dan Kinesthetic (VAK), yang mengelompokkan peserta didik berdasarkan dominasi saluran sensorik dalam proses belajar. Dalam konteks pembelajaran sains, perbedaan modalitas ini berimplikasi pada variasi keterlibatan kognitif maupun afektif peserta didik. Kesesuaian antara strategi pembelajaran dan gaya belajar dominan dapat mendukung efektivitas pemahaman konsep, meningkatkan partisipasi aktif, serta memperkuat proses pengolahan informasi secara lebih optimal (Shaidullina *et al.*, 2023). Dengan memahami gaya belajar siswa, guru dapat menyesuaikan strategi dan media pembelajaran untuk meningkatkan efektivitas belajar, khususnya dalam mata pelajaran sains seperti IPA (Dincol Ozgur dan Ozgur, 2018). Gaya belajar umumnya terbagi menjadi tiga tipe utama yaitu :

1. Gaya Belajar Visual

Gaya belajar visual merujuk pada preferensi siswa dalam menyerap informasi melalui elemen visual seperti gambar, grafik, diagram, dan warna (Rosdiana *et al.*, 2022). Dalam konteks pembelajaran IPA, siswa visual lebih mudah memahami konsep melalui ilustrasi dan animasi ilmiah yang menjelaskan fenomena alam secara konkret (Arni *et al.*, 2024). Penggunaan media pembelajaran berbasis gambar atau simulasi berbantu warna dan bentuk telah

terbukti meningkatkan hasil belajar siswa visual secara signifikan (Sayed *et al.*, 2025).

2. Gaya Belajar Auditori

Siswa dengan gaya belajar auditori lebih cepat memahami informasi ketika disampaikan melalui suara, seperti ceramah, diskusi, atau rekaman audio (Pourhosein Gilakjani, 2011). Dalam pembelajaran IPA, siswa auditori akan lebih memahami konsep apabila disampaikan melalui narasi video, podcast edukatif, atau kegiatan tanya jawab secara lisan (Arni *et al.*, 2024b). Selain itu, model pembelajaran berbasis penjelasan verbal juga membantu siswa auditori dalam membangun koneksi logis antara konsep-konsep ilmiah (Sayed *et al.*, 2025).

3. Gaya Belajar Kinestetik

Gaya belajar kinestetik ditandai dengan preferensi siswa untuk belajar melalui gerakan fisik, pengalaman langsung, atau praktik konkret (Rosdiana *et al.*, 2022). Dalam pembelajaran IPA, siswa kinestetik sangat terbantu dengan kegiatan eksperimen laboratorium, simulasi sains interaktif, dan pembelajaran berbasis proyek (Almasri, 2022). juga menemukan bahwa keterlibatan fisik dalam simulasi sains meningkatkan motivasi, retensi, dan pemahaman konsep siswa dengan gaya belajar kinestetik.

Instrumen gaya belajar siswa disusun berdasarkan model VAK (*Visual, Auditory, Kinesthetic*) yang digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan gaya belajar peserta didik. Instrumen ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana cara peserta didik menerima, mengolah, dan memahami informasi selama proses pembelajaran. Kisi-kisi instrumen gaya belajar siswa disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Instrumen Gaya Belajar Siswa

No	Aspek	Indikator	Pilihan Jawaban
1.	Gaya Belajar Visual	<p>Cara belajar dengan membaca atau melihat gambar. Suka mencatat dan membuat rangkuman materi. Mudah mengingat informasi yang dilihat dalam media pembelajaran. Lebih memahami petunjuk dalam bentuk gambar dibanding penjelasan lisan. Tidak mudah terganggu oleh suara saat belajar menggunakan media. Suka melihat tampilan desain menarik pada media <i>Smart Apps Creator</i>. Lebih memahami materi ketika disajikan dalam bentuk video atau animasi.</p>	A
2.	Gaya Belajar Auditori	<p>Cara belajar dengan mendengarkan penjelasan guru atau audio. Mudah mengingat informasi yang dijelaskan secara lisan. Suka berdiskusi dan menyampaikan pendapat. Lebih fokus saat mendengarkan narasi pada media pembelajaran. Suka belajar dengan musik latar atau suara yang menarik. Mudah terganggu oleh kebisingan saat belajar. Lebih memahami materi setelah mendengarkan ulang penjelasan guru atau audio media.</p>	B
3.	Gaya Belajar Kinestetik	<p>Cara belajar dengan melakukan praktik langsung atau simulasi. Suka bereksperimen menggunakan media pembelajaran interaktif. Sulit duduk diam dalam waktu lama saat belajar. Mudah memahami konsep dengan menyentuh atau menggerakkan objek dalam media. Lebih tertarik pada kegiatan yang melibatkan aktivitas fisik atau interaksi langsung. Menyukai pembelajaran yang menggunakan permainan (game edukatif). Belajar lebih efektif ketika mencoba langsung fitur pada <i>Smart Apps Creator</i>.</p>	C

Keterangan :

A = Visual

B = Auditori

C = Kinestetik

(Akhmad Sugianto, 2021)

2.1.6 Teori Belajar Konstruktivisme Sosial

Teori belajar konstruktivisme memandang bahwa pengetahuan itu dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman nyata, proses penemuan, praktik langsung, dan pemecahan masalah yang terbuka. Pembelajaran yang dimaksud bukanlah proses menerima informasi secara pasif, melainkan proses konstruksi pengetahuan yang berlangsung melalui interaksi aktif antara individu dan lingkungannya. Konstruktivisme ini hadir sebagai pendekatan alternatif dari teori behavioristik yang terlalu menekankan pada stimulus-respons tanpa memperhatikan proses internal peserta didik. Dalam pendekatan konstruktivisme, peserta didik didorong untuk aktif mengembangkan kemampuan dan keterampilannya secara mandiri (Nurhayati dkk., 2025). Teori belajar konstruktivisme sangat mendukung pembelajaran yang aktif dan kolaboratif, dimana peserta didik membangun pengetahuan melalui keterlibatan langsung dan interaksi sosial (Afriani *et al.*, 2024).

Konstruktivisme sosial menekankan betapa pentingnya kontak sosial dan pembelajaran komperatif dalam pengembangan model mental kognitif, afektif, dan berbasis realistik. Pembelajaran konstruktivisme lev vigotsky memperkenalkan salah satu konsep *zone of proximal development (ZPD)*. *Zone of proximal development (ZPD)* menggambarkan bagaimana pembelajaran varian individu dan dengan bantuan orang lain yang lebih berpengalaman untuk menjelaskan secara logis (Bidita., 2024). Konsep *Zona of Proximal Development (ZPD)* menunjukkan bahwa pembelajaran efektif terjadi ketika peserta didik dibantu oleh individu yang lebih berpengalaman (seperti guru atau teman sejawat) untuk mengatasi kesulitan yang berada di luar kemampuan mandiri mereka, sehingga kolaborasi dan dukungan sosial berperan penting dalam meningkatkan kapasitas belajar siswa (Rahman 2024). Penerapan ZPD dalam pendidikan sering menggunakan *scaffolding*, sebuah strategi memberikan bantuan sementara kepada peserta didik selama proses belajar, sehingga mereka secara bertahap bisa mengambil tanggung jawab atas pembelajaran mereka sendiri

Pembelajaran dengan pendekatan konstruktivis sosial berpusat peserta didik dalam keaktifan berpikir dan keterampilan memecahkan masalah sehingga tercipta pembelajaran yang mandiri dan hasil belajar peserta didik dapat meningkat. Pendekatan konstruktivisme memiliki prinsip diantaranya adalah : (1) pengetahuan dibangun oleh peserta didik secara aktif, (2) tekanan dalam proses belajar terletak pada peserta didik, (3) mengajar adalah membantu peserta didik belajar, (4) tekanan dalam proses belajar lebih dalam yaitu pada proses bukan pada hasil, (5) kurikulum menekankan partisipasi peserta didik, dan (6) guru adalah fasilitator (Nurhidayati, 2017). Dengan demikian, Pembelajaran dengan pendekatan konstruktivis sosial menekankan peran aktif peserta didik dalam membangun pengetahuan dan keterampilan memecahkan masalah, sehingga mendorong kemandirian belajar dan peningkatan hasil belajar. Menurut Nurhidayati, (2017) Prinsip utamanya adalah peserta didik membangun pengetahuan secara aktif, proses belajar berpusat pada peserta didik, guru berperan sebagai fasilitator, pembelajaran lebih menekankan pada proses daripada hasil, serta kurikulum dirancang untuk melibatkan partisipasi aktif peserta didik

2.1.7 Teori Belajar Ausubel

Pembelajaran bermakna menjadi suatu proses mengaitkan informasi baru pada konsep-konsep relevan yang terdapat dalam struktur kognitif peserta didik (Bryce and Blown 2024). Pembelajaran bermakna merupakan suatu proses pembelajaran yang dimana peserta didik mampu menghubungkan dengan fenomena baru ke dalam struktur yang dimilikinya. Artinya peserta didik dapat mengaitkan pengetahuan yang baru diperoleh dengan struktur kognitif yang sudah ada (Mayer 2024).

Berbagai jenis pembelajaran menurut Ausubel antara lain: (1) Belajar dengan penemuan yang bermakna adalah siswa mengaitkan pengetahuan yang telah dimilikinya dengan materi pelajaran yang dipelajari. (2) Belajar dengan penemuan yang tidak bermakna yaitu pelajaran yang ditemukan sendiri oleh siswa tanpa mengaitkan dengan pengetahuan yang telah dimilikinya, kemudian dihafalkan. (3) Belajar menerima (ekpositori) yang bermakna yaitu ketika materi

pelajaran yang telah tersusun secara logis disampaikan kepada siswa sampai tahap akhir, kemudian pengetahuan yang baru yang diperoleh dikaitkan dengan pengetahuan lain yang telah dimiliki (Harefa, 2013).

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran bermakna menurut Ausubel dalam penelitian ini yaitu mengaitkan informasi baru yang diperoleh dengan konsep-konsep relevan yang telah dipelajari, kemudian mampu memperkuat pemahaman konsep yang telah dikuasai.

2.1.8 *Ill-Structured Problem*

Ill-Structured Problem merupakan jenis permasalahan yang bersifat terbuka, kompleks, dan tidak memiliki satu jawaban benar yang pasti sehingga penyelesaiannya menuntut analisis mendalam serta pertimbangan berbagai alternatif solusi (Leung., 2022). Masalah jenis ini umumnya ditandai dengan informasi yang tidak lengkap, adanya berbagai sudut pandang, serta kemungkinan lebih dari satu solusi yang dapat diterima secara rasional (Smith *et al.*, 2022). Dalam pembelajaran sains khususnya fisika, penggunaan masalah yang tidak terstruktur terbukti mampu mendorong peserta didik melakukan identifikasi masalah, pengumpulan informasi, analisis bukti, serta evaluasi keputusan secara sistematis (Muñoz Alvarez *et al.*, 2025). Verawati *et al.*, (2024) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis masalah mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis karena siswa terlibat langsung dalam proses analisis, penalaran, dan evaluasi keputusan secara sistematis. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan masalah tidak terstruktur dalam pembelajaran fisika dapat menjadi sarana yang efektif untuk melatih kemampuan berpikir tingkat tinggi, sebab siswa tidak hanya berfokus pada hasil akhir, tetapi juga pada proses penalaran dan justifikasi solusi yang dipilih.

Dalam konteks pembelajaran fisika berbasis proyek seperti pengolahan limbah daun kering, *ill-structured problem* memberikan ruang bagi siswa untuk menelaah berbagai alternatif solusi, misalnya dijadikan bahan bakar alternatif dengan mempertimbangkan dampak lingkungan dan keberlanjutan, sehingga

keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* dapat terlatih secara terpadu (Lafifa *et al.*, 2023). Sejalan dengan karakteristik *ill-structured problem* yang menuntut kemampuan analisis mendalam dan pengambilan keputusan berbasis pertimbangan rasional, penerapannya dalam pembelajaran berbasis proyek relevan untuk melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik. Ketika siswa dihadapkan pada permasalahan nyata seperti pengolahan limbah daun kering, mereka tidak hanya mencari solusi, tetapi juga mengidentifikasi akar masalah, mengumpulkan informasi pendukung, membandingkan berbagai alternatif, serta mengevaluasi dampak dari setiap keputusan yang diambil. Proses ini sejalan dengan temuan bahwa pembelajaran berbasis masalah dan proyek secara signifikan meningkatkan kemampuan analitis serta evaluatif dalam pembelajaran sains (Ramadhani *et al.*, 2024). Selain itu, integrasi isu keberlanjutan dalam konteks pembelajaran kontekstual membantu peserta didik memahami keterkaitan antara aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi secara sistemik, yang merupakan komponen utama dalam *Sustainability Literacy* (Sanchez *et al.*, 2025). Dengan demikian, penggunaan *ill-structured problem* dalam LKPD pengolahan limbah daun kering memberikan ruang bagi siswa untuk terlibat dalam proses berpikir reflektif dan berbasis bukti sekaligus memperkuat pemahaman keberlanjutan dalam pembelajaran fisika.

2.1.9 Well Structured Problem

Well-structured problem merupakan jenis permasalahan yang memiliki tujuan yang jelas, informasi yang lengkap, serta langkah penyelesaian yang sudah terarah (Yohananingtyas dan Harjito 2024). Pada masalah ini, peserta didik dapat menemukan jawaban dengan mengikuti prosedur atau konsep yang telah dipelajari sebelumnya. Oleh karena itu, *well-structured problem* sering digunakan dalam kegiatan pembelajaran karena membantu peserta didik memahami materi secara sistematis.

Dalam proses pembelajaran, penggunaan *well-structured problem* dapat membantu peserta didik untuk melatih keterampilan berpikir kritis. Peserta didik tidak hanya mengingat materi, tetapi juga diminta untuk menganalisis informasi,

memahami hubungan antar konsep, serta menentukan solusi yang tepat berdasarkan data yang tersedia. Dengan adanya permasalahan yang jelas dan terstruktur, peserta didik lebih mudah fokus dalam memecahkan masalah secara logis dan bertahap (Pozuelo-Muñoz *et al.*, 2023).

Pada penelitian ini, *well-structured problem* diterapkan melalui LKPD pengolahan limbah daun kering. Permasalahan yang diberikan dalam LKPD disusun secara sistematis, mulai dari pengenalan masalah lingkungan, analisis bahan yang dapat dimanfaatkan, hingga langkah-langkah pengolahan limbah daun kering menjadi produk yang bermanfaat. Dengan demikian, peserta didik dapat memahami masalah dengan baik sekaligus mengembangkan kemampuan berpikir kritis dalam mencari solusi terhadap permasalahan lingkungan.

2.1.10 Problem Solving

Problem solving atau pemecahan masalah merupakan kemampuan peserta didik dalam mengidentifikasi permasalahan, menganalisis informasi yang relevan, serta menentukan solusi secara sistematis dan rasional. Keterampilan ini termasuk dalam kategori *higher order thinking skills* karena melibatkan proses analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan. Dalam konteks pendidikan abad ke-21, kemampuan *problem solving* menjadi kompetensi penting yang harus dimiliki peserta didik agar mampu menghadapi berbagai tantangan yang kompleks dan dinamis (Bariyyah., 2021). Rusmin and Misrahayu (2024) menegaskan bahwa proses pemecahan masalah tidak hanya berorientasi pada hasil akhir, tetapi juga pada tahapan berpikir seperti memahami masalah, mengorganisasi informasi, mengevaluasi alternatif solusi, serta menarik kesimpulan secara logis. Hal ini menunjukkan bahwa *problem solving* memiliki keterkaitan yang erat dengan keterampilan berpikir kritis, karena keduanya sama-sama menuntut kemampuan analisis dan evaluasi yang mendalam.

Li *et al.*, (2024) menjelaskan bahwa pemecahan masalah melibatkan proses kognitif berupa tahap input (penerimaan informasi), *processing* (pengolahan melalui persepsi, perhatian, memori, dan penalaran), serta output (pengambilan

keputusan atau tindakan), yang keseluruhannya berperan dalam meningkatkan efektivitas dan ketepatan solusi. *Problem solving* merupakan proses kognitif yang melibatkan restrukturisasi pemahaman, pengolahan informasi, serta integrasi penalaran logis dalam menyelesaikan permasalahan secara efektif. Greiff *et al.*, (2013) menunjukkan bahwa keberhasilan pemecahan masalah berkaitan dengan proses *insight* dan perubahan representasi mental setelah individu melakukan analisis mendalam terhadap informasi yang tersedia. Wu *and* Molnár (2022) menjelaskan bahwa pemecahan masalah kompleks menuntut integrasi antara penalaran, evaluasi strategi, serta refleksi berkelanjutan untuk menghasilkan keputusan yang tepat. Temuan tersebut menegaskan bahwa *problem solving* merupakan aktivitas berpikir tingkat tinggi yang relevan dalam pembelajaran berbasis proyek, karena mendorong peserta didik untuk menganalisis permasalahan lingkungan, merancang solusi, dan mengevaluasi hasil secara sistematis sehingga mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*.

2.1.11 Limbah Daun Kering

Limbah organik merupakan sisa buangan dari makhluk hidup yang masih dapat terurai secara alami. Salah satu limbah daun dan ranting pohon yang banyak dijumpai dalam lingkungan sekitar. Limbah daun ini dapat dijadikan bahan energi alternatif yang bermanfaat, seperti briket (Nurhilal *et al.*, 2025). Limbah daun kering yang dijadikan briket memiliki kadar air rendah, tingkat kepadatan yang tinggi serta mampu menghasilkan panas yang cukup besar untuk pembakaran air air hingga mendidih (Wandi *and* Harri., 2015). Menurut Kasrun *et al.* (2016) menegaskan bahwa bahan bakar biomassa dari limbah daun kering memiliki nilai kalor antara 4.100-4.600 kcal/kg, dengan karakteristik pembakaran yang stabil dan ramah lingkungan.

Berbagai jenis limbah dedaunan kering salah satunya pada limbah daun ketapang. Daun ketapang umumnya berwarna hijau, namun saat musim kemarau atau gugur daun ketapang kering akan berwarna kuning kecoklatan atau merah kecoklatan. Kandungan senyawa metabolit aktif dalam daun ketapang yaitu alkaloid,

flavonoid, tanin, dan fenol (Sanda *et al.*, 2023). Daun ketapang yang jatuh merupakan sampah organik yang kaya karbon karena mengandung senyawa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kandungan kimia dalam daun ketapang terdiri dari 16,60%, selulosa 24,70%, dan 43,46% lignin (Natural *et al.*, 2024).

Dalam kegiatan pembuatan briket memiliki beberapa tahapan seperti, karbonasi sampah daun dengan metode pirolisis, persiapan bahan baku, pembuatan perekat, pencampuran antara arang dan perekat, dan terakhir yaitu pencetakan. Proses pembuatan briket melibatkan pencampuran bahan baku, pencetakan, dan pengeringan dalam kondisi tertentu, sehingga menghasilkan briket dengan bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia yang spesifik. Tujuan utama dari pembuatan briket adalah untuk meningkatkan kualitas bahan bakar, mempermudah penanganan dan pengangkutan, serta mengurangi kehilangan bahan yang berupa debu selama proses transportasi (Hidayah *et al.*, 2014).

2.1.12 Alternatif Fuel

Bahan bakar alternatif telah menjadi fokus utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas dan menghadapi tantangan perubahan iklim. Berbagai jenis bahan bakar alternatif telah dikembangkan dan dipertimbangkan untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri pelayaran dan pembangkit tenaga. Contoh bahan bakar alternatif yang populer antara lain *biofuel* (dari bahan organik seperti tanaman jarak pagar atau limbah pertanian), hidrogen, dan energi nuklir. *Biofuel* dapat dihasilkan dari limbah pertanian dan industri, sedangkan hidrogen dapat diperoleh dari air melalui proses elektrolisis. Di industri pelayaran, LNG (*Liquefied Natural Gas*), LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), dan methanol telah dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (Thepsithar, 2020).

Penggunaan bahan bakar alternatif juga memiliki potensi besar dalam meningkatkan keamanan dan mengurangi polusi lingkungan, terutama dalam konteks penggunaan di industri semen dan pelayaran. Salah satu bahan bakar

alternatif yang dapat digunakan yaitu pemanfaatan briket dari bahan limbah sampah organik. Briket sering dimanfaatkan dalam aplikasi industri, dengan keunggulan utama bahan bakar padat dibandingkan biomassa tradisional yaitu memiliki kadar air yang lebih rendah (hingga 40%). Hal ini meningkatkan efisiensi pembakaran secara keseluruhan sebesar 40-68%, tergantung pada jenis daun yang digunakan (Stancin *et al.*, 2020).

Pemanfaatan briket dari limbah organik, seperti daun kering, tidak hanya relevan dalam konteks energi alternatif, tetapi juga memiliki potensi besar sebagai konteks pembelajaran sains yang kontekstual di sekolah. Isu pengolahan limbah dan energi terbarukan merupakan permasalahan nyata yang dekat dengan kehidupan peserta didik sehingga efektif digunakan sebagai sumber belajar berbasis masalah (*problem-based context*) (Saparin and Wijianti., 2016). Pembelajaran yang mengaitkan konsep energi dengan permasalahan lingkungan lokal terbukti mampu meningkatkan pemahaman konseptual dan keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran (Suryani et al., 2022).

Pembuatan briket limbah organik ke dalam LKPD berbasis proyek memungkinkan penerapan pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL)–STEM secara utuh. Melalui kegiatan proyek, peserta didik dapat mengkaji konsep sains terkait energi dan pembakaran, menerapkan teknologi sederhana dalam proses pencetakan briket, merancang solusi pengolahan limbah, serta melakukan perhitungan matematis sederhana terkait efisiensi dan nilai kalor (Diamar, 2025). Pendekatan PjBL–STEM seperti ini mendorong peserta didik untuk belajar secara aktif dan bermakna melalui pengalaman langsung (*hands-on* dan *minds-on*) (Kamila and Maryani 2025).

Selain mendukung pemahaman konsep sains, penggunaan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering menjadi briket juga berkontribusi dalam melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik. Peserta didik dilatih untuk mengidentifikasi masalah lingkungan, menganalisis potensi limbah sebagai sumber energi, mengevaluasi hasil proyek, serta menarik kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh selama kegiatan proyek (Ajeng and Anggrawina 2025).

Aktivitas ini sejalan dengan karakteristik pembelajaran abad ke-21 yang menekankan penguasaan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Proyek pembuatan briket limbah organik dalam pembelajaran juga berperan dalam meningkatkan *Sustainability Literacy* peserta didik. Peserta didik tidak hanya memahami konsep keberlanjutan secara teoritis, tetapi juga mengembangkan sikap peduli lingkungan melalui praktik langsung pengelolaan limbah menjadi sumber energi alternatif (Wiek et al., 2021). Pembelajaran berbasis proyek yang mengangkat isu energi terbarukan dan pengelolaan limbah terbukti efektif dalam menumbuhkan kesadaran peserta didik terhadap pentingnya pembangunan berkelanjutan (*Education for Sustainable Development*) (Laela et al., 2024). Pemanfaatan briket dari limbah daun kering sebagai konteks pembelajaran melalui LKPD berbasis proyek PjBL–STEM tidak hanya relevan untuk membahas bahan bakar alternatif, tetapi juga efektif sebagai strategi pembelajaran untuk melatih keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik secara terpadu (Fauzi dan Rahmawati, 2023).

2.2 Penelitian Relevan

Penelitian yang memiliki relevansi dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Penelitian Relevan

Nama Peneliti	Nama Jurnal	Judul Artikel	Hasil Penelitian
(Al Jarwi et al. 2024)	Kappa Journal	Dampak Penggunaan E-Modul IPA terintegrasi STEM untuk penguatan <i>Sustainable Development Goals</i> (SDGs) dan Profil Pelajar Pancasila Dimensi Berpikir Kritis	Penelitian ini menghasilkan E-Modul terintegrasi STEM yang efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dan mendukung pencapaian SDGs.
(Anjani et al. 2023)	<i>Journal of Naural Science Learning</i>	Pengaruh Model Project Based Learning Berbantuan Laboratorium Virtual Terhadap	Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari model pembelajaran PJBL yang dibantu

		Keterampilan Berpikir Kritis	dengan laboratorium virtual terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik.
(Fadilah <i>et al.</i> , 2023)	<i>Indonesian Rivew of Physics</i>	<i>The Effect of Percentage Variation of Ketapang Fruit Biobricks on Health Value and Combustion Rate</i>	Penelitian ini menghasilkan variasi bahan baku pembuatan briket yang mempengaruhi kalor dan laju pembakaran. Penelitian ini relevan dalam konteks pengolahan limbah.
(Hakim <i>et al.</i> , 2025)	Jurnal penelitian, Pendidikan, Sosial, dan Keagamaan	Penerapan <i>Project-Based Learning</i> Berbasis STEM Dalam Upaya Meningkatkan Literasi Siswa SMA	Penelitian ini membuktikan bahwa PJBL dapat meningkatkan literasi dan keterampilan berpikir kritis peserta didik melalui pembelajaran proyek yang relevan dengan kondisi nyata.
(Reswara <i>et al.</i> , 2024)	<i>Journal of Physics</i>	<i>Increasing scientific literacy abilities through SSI integrated PjBL-STEAM learning model on energy and simple machine topics</i>	Penelitian menghasilkan Pjbl-STEAM dapat meningkatkan keterampilan literasi sains peserta didik dibidang energi dan mesin sederhana.
(Sari., 2025)	Riset Ilmiah Pendidikan Fisika	Analisis Kebutuhan E-LKPD Berbasis <i>Problem Based Learning</i> untuk Memfasilitasi Kemampuan Berpikir Kritis Siswapada Materi Dinamika Partikel	Penelitian ini menyatakan bahwa E-LKPD berbasis <i>Problem Based Learning</i> mampu menarik minat peserta didik dan mendorong partisipasi aktif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis.

2.3 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada peningkatan yang signifikan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

H_1 : Terdapat peningkatan yang signifikan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

H_0 : Tidak ada peningkatan yang signifikan *Sustainability Literacy* peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

H_1 : Terdapat peningkatan yang signifikan *Sustainability Literacy* peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

H_0 : Tidak ada perbedaan *N-Gain* keterampilan berpikir kritis peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan karakteristik gaya belajar.

H_1 : Terdapat perbedaan *N-Gain* keterampilan berpikir kritis peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan karakteristik gaya belajar.

H_0 : Tidak ada perbedaan *N-Gain Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan karakteristik gaya belajar.

H_1 : Terdapat perbedaan *N-Gain Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan karakteristik gaya belajar.

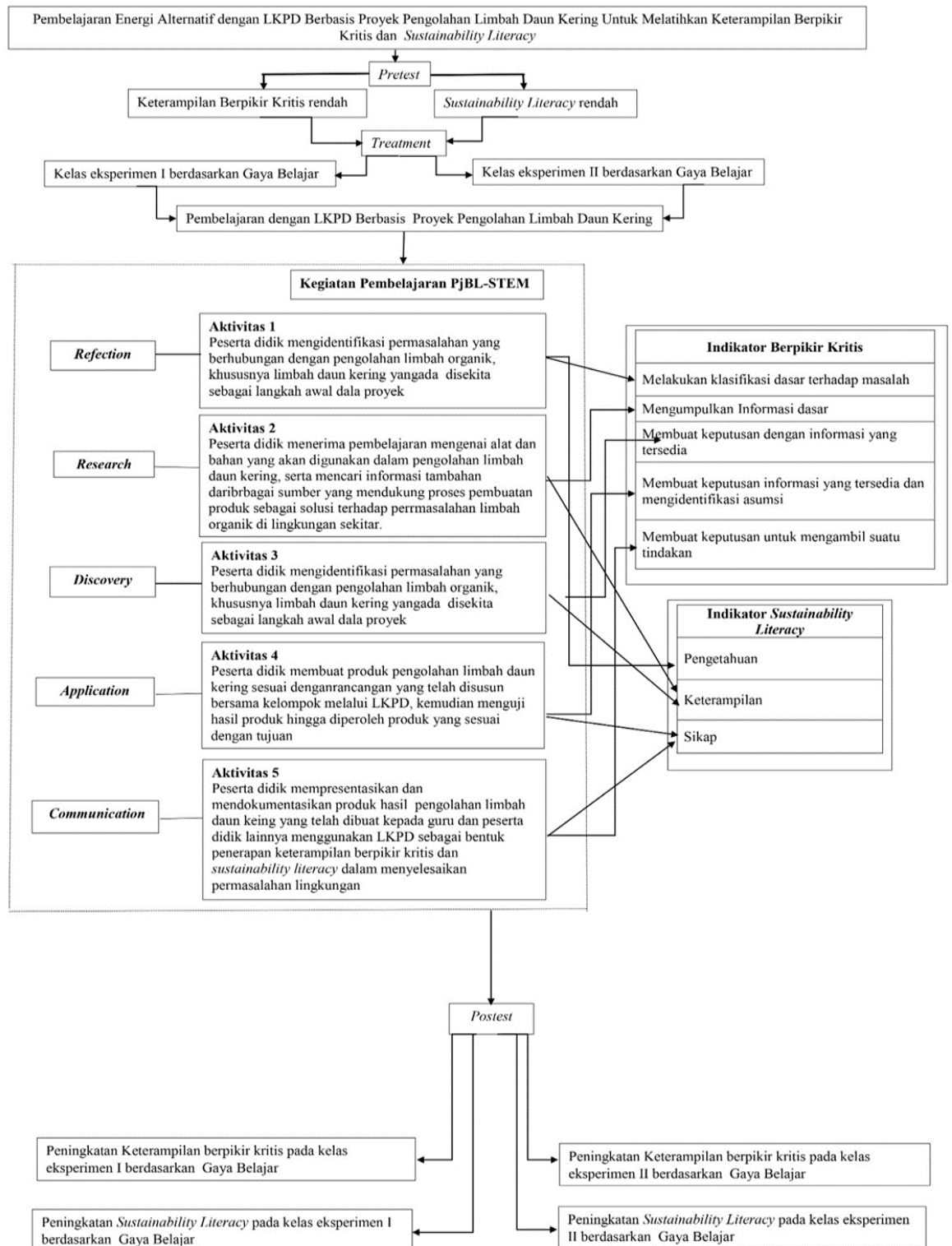
2.4 Kerangka Pemikiran

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui dampak penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis proyek dalam melatih keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik. Dalam penelitian ini terdapat dua kelas yang dijadikan sampel, yaitu kelas eksperimen I dan Kelas eksperimen II yang menggunakan LKPD berbasis proyek. LKPD berbasis proyek yang diterapkan di kelas eksperimen berfungsi sebagai sumber belajar yang dirancang untuk menarik perhatian peserta didik, sehingga memberikan mereka

kesempatan untuk belajar dan melatih keterampilan berpikir kritis dan literasi keberlanjutan dalam pembelajaran.

Sebelum melakukan *treatment* pada kedua kelas eksperimen, akan diberikan *Pretest* terlebih dahulu untuk mengukur kemampuan awal peserta didik dengan gaya belajar yang berbeda-beda. Setelah melakukan *Pretest* peserta didik diberikan *treatment* menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*. Aktivitas yang dilakukan dalam LKPD berbasis proyek terdiri dari refleksi, penelitian, penemuan, aplikasi, dan komunikasi. Kegiatan pembelajaran dilakukan secara berkelompok, yang mendorong interaksi antar anggota kelompok sehingga membuat para peserta didik dapat belajar secara aktif.

Setelah memberikan *treatment* pada kedua kelas eksperimen, maka akan dilakukan *Posttest* untuk melatih keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*, yang menunjukkan peningkatan dengan *treatment* yang sama pada kedua kelas eksperimen. Setelah menyelesaikan semua tahapan pembelajaran berbasis proyek, terlihat adanya peningkatan dalam keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik. Kerangka pemikiran dijelaskan secara singkat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

III. METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMAN 1 Tanjung Sari. Penelitian ini dilaksanakan pada tahun ajaran 2025/2026. Jadwal pelaksanaan penelitian ini disesuaikan dengan jadwal pembelajaran fisika di kelas X.M1 dan X.M2 SMAN 1 Tanjung Sari.

3.2 Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh kelas X di SMAN 1 Tanjung Sari, yang terdiri dari lima kelas. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah teknik *puposive sampling*. Menurut Etikan., (2016) *puposive sampling* yaitu pemilihan kelas yang paling sesuai dengan tujuan penelitian. Pemilihan kelas dilakukan melalui koordinasi dan diskusi bersama guru mata pelajaran fisika untuk memperoleh gambaran mengenai karakteristik tiap kelas. Berdasarkan hasil pertimbangan tersebut, kelas X.M1 ditetapkan sebagai kelas eksperimen satu, karena memiliki tingkat partisipasi dan tanggapan yang baik selama proses pembelajaran, aktif dalam berdiskusi, serta memiliki kognitif yang lebih baik dibandingkan dengan kelas lainnya. Sedangkan kelas X.M2 ditetapkan sebagai kelas eksperimen dua, dengan karakteristik peserta didik yang cenderung lebih pasif, belum terlalu aktif dalam kegiatan diskusi.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan dua jenis variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah efektivitas LKPD yang

berbasis proyek, sedangkan variabel terikatnya yaitu melatih hasil belajar keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik.

3.4 Jenis dan Desain Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *quasy eksperimental* dengan desain penelitian *one grup Pretest-Posttest*, dimana terdapat dua kelompok eksperimen dengan keduanya mendapatkan perlakuan yang sama yaitu pembelajaran *Project Based Learning-STEM* untuk melatih keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk melihat efektivitas dari keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* melalui perbandingan hasil *Pretest* dan *Posttest*. Adapun tabel desain penelitian *One Group Pretest-Posttest* yang diadaptasi dari Creswell (2022) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Desain Penelitian

<i>O₁</i>	X <i>(Treatment)</i>	Aktivitas Model Pembelajaran PjBL-STEM		Indikator Berpikir Kritis	Indikator Sustainability Literacy	<i>O₂</i>
1	2	Guru	Peserta Didik	5	6	7
<i>Pretest</i> Keterampilan berpikir kritis dan <i>Sustainability Literacy</i> peserta didik rendah	Reflection	Menyajikan data, teks, atau gambar tentang dampak limbah organik terhadap lingkungan dan mengarahkan peserta didik untuk mengidentifikasi permasalahan lingkungan yang berkaitan dengan limbah organik khususnya limbah daun kering	Mengidentifikasi masalah limbah organik khususnya limbah daun kering di lingkungan sekitar. Menuliskan pertanyaan berdasarkan wacana permasalahan limbah daun kering. Menuliskan informasi awal yang dapat dikemukakan dari permasalahan limbah daun kering Menuliskan informasi yang perlu dicari untuk menyelesaikan masalah limbah daun kering	Melakukan klarifikasi dasar terhadap masalah Mengidentifikasi masalah limbah daun kering di lingkungan sekitar	Aspek Pengetahuan	<i>Posttest</i> Terjadi peningkatan keterampilan berpikir kritis dan <i>Sustainability Literacy</i> peserta didik
	Research	Membebaskan peserta didik untuk mencari informasi tambahan mengenai limbah daun kering dari berbagai sumber	Mencari informasi yang sudah diidentifikasi sebelumnya dengan menggunakan sumber-sumber informasi yang kredibel.	Mengumpulkan informasi dasar Mengumpulkan informasi untuk menyelesaikan masalah limbah daun kering dari berbagai sumber informasi yang kredibel.	Aspek Keterampilan	

Discovery	Membagi siswa kedalam kelompok untuk mendiskusikan terkait solusi yang bisa menjawab permasalahan yang timbul tentang pemanfaatan limbah daun kering.	Mendiskusikan bersama kelompok untuk Menuliskan rumusan masalah sebagai acuan masalah limbah daun kering yang terdapat pada wacana.	Membuat Keputusan dengan informasi dasar Membuat keputusan dengan informasi yang sudah tersedia.	Aspek keterampilan
		Menuliskan gagasan tentang tujuan proyek yang akan dilakukan dalam rangka menyelesaikan masalah limbah daun kering.		
		Menentukan variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol dalam rancangan rencana proyek yang akan dibuat.		
		Menentukan dan menuliskan prosedur proyek pengolahan daun kering yang akan dilakukan dengan menggunakan informasi yang telah dikumpulkan		
		Menentukan dan menuliskan alat dan bahan yang akan digunakan dalam proyek limbah daun kering		

		Menggambarkan desain proyek yang akan dibuat beserta rincian tentang fungsi dan kegunaan pada setiap komponen proyek pengolahan limbah daun kering		
		Menyusun jadwal kegiatan selama proyek pengolahan limbah daun kering disertai penjelasan kapan, dimana, dan kegiatan apa yang dilakukan		
Application	Pendidik mendampingi peserta didik dalam proses pembuatan proyek sebagai solusi dalam permasalahan daun kering	Membuat produk pengolahan limbah daun kering sesuai dengan prosedur yang telah disusun. Melakukan uji coba produk briket dengan mempertimbangkan variabelvariabel yang telah dituliskan dengan benar. Menuliskan kendala-kendala yang dihadapi selama mengerjakan proyek pengolahan limbah daun kering	Membuat keputusan informasi yang tersedia dan mengidentifikasi asumsi Mengumpulkan informasi klarifikasi dan analisis lebih lanjut	Aspek Sikap
Communication	Pendidik meminta peserta didik untuk mempresentasikan dan mendemonstrasikan proyek yang telah mereka buat oleh kelompok masingmasing	Mendokumentasikan setiap pelaksanaan kegiatan pembuatan proyek pengolahan limbah daun kering.	Membuat keputusan untuk mengambil suatu tindakan	Aspek Sikap

	Membuat laporan yang disusun dengan sistematis berdasarkan proyek yang telah dibuat	Membuat dan mengomunikasikan keputusan terbaik
	Mempresentasikan hasil proyek yang telah dibuat.	

Keterangan :

O_1 : *Pretest* pada kelas eksperimen satu dan dua

O_1 : *Posttest* pada kelas eksperimen satu dan dua

X : *Treatment* pada kedua kelas eksperimen menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Beberapa tahapan prosedur dalam pelaksanaan yang akan dilakukan pada penelitian kali ini sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan Kegiatan yang terdapat pada tahap persiapan meliputi beberapa hal berikut:
 - a. Mengajukan permohonan izin untuk melaksanakan penelitian di SMAN 1 Kibang.
 - b. Melakukan wawancara dengan guru fisika di SMAN 1 Kibang.
 - c. Memilih sampel yang akan digunakan dalam penelitian.
 - d. Menyusun instrumen yang diperlukan untuk penelitian.

2. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan, peneliti melakukan serangkaian kegiatan untuk memberikan perlakuan (*treatment*) pada dua kelas eksperimen. Pembelajaran di kelas X.1 dan X.2 dilaksanakan menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering dengan model pembelajaran *project based learning-STEM*. Kedua kelas eksperimen mendapatkan perlakuan yang sama, baik dari segi tahapan pembelajaran, materi, maupun aktivitas yang dilakukan. Pembelajaran disesuaikan dengan modul ajar serta LKPD yang telah dirancang, dengan peneliti sebagai fasilitator dan pengamat selama proses pembelajaran. Kegiatan pembelajaran dilaksanakan selama beberapa kali pertemuan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Aktivitas pembelajaran difokuskan pada keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik melalui kegiatan proyek pengolahan limbah daun kering.

3. Tahap Akhir

Kegiatan pada tahap akhir terdiri dari beberapa poin yaitu:

- a. Pengolahan data yang berasal dari hasil *Pretest* dan *Posttest* peserta didik, dan instrumen pendukung lainnya yang digunakan.
- b. Melakukan analisis data secara kuantitatif untuk membandingkan hasil tes awal dan tes akhir antara kelas eksperimen satu dan kelas eksperimen dua. Tujuannya untuk mengetahui perbedaan tingkat peningkatan keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* setelah perlakuan.

- c. Menyimpulkan hasil yang didasarkan pada analisis data yang diperoleh, dan dilanjutkan dengan menyusun laporan penelitian.

3.6 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu lembar tes hasil belajar berupa *Pretest* dan *Posttest* dengan format soal esai dengan butir-butir pertanyaan yang dirancang berdasarkan indikator keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy*. Tes ini dilakukan dengan tujuan untuk mengukur hasil belajar peserta didik dengan penggunaan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering dalam proses pembelajaran.

3.7 Analisis Instrumen Penelitian

Penggunaan instrumen dalam penelitian ini melalui pengujian terlebih dahulu sebelum dilanjutkan untuk menganalisis, pengujian ini menggunakan uji validitas serta uji reliabilitas untuk pengujiannya dapat menggunakan aplikasi SPSS.

3.7.1 Uji Validitas

Instrumen dianggap valid apabila instrumen tersebut mampu mengukur dengan tepat apa yang diinginkan. Uji validitas instrumen *Pretest* dan *Posttest* dilakukan guna menilai sejauh mana instrumen tes yang digunakan dapat mengukur keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* yang dilatih. Instrumen dengan validitas yang tinggi merupakan instrumen yang valid, sehingga instrumen dengan validitas rendah merupakan instrumen yang tidak valid. Pengujian validitas instrumen sering melibatkan penggunaan rumus korelasi *product moment* oleh *pearson*. Berikut merupakan rumus korelasi *product moment*:

$$\frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{N \sum X^2 - (\sum X)^2\}\{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

Keterangan :

N : Jumlah peserta didik yang dites

- $\sum X$: Jumlah skor item nomor
 $\sum Y$: Jumlah skor total
 $\sum XY$: jumlah (skor item x skor total)
 $\sum X^2$: jumlah kuadrat skor item
 $\sum Y^2$: jumlah kuadrat skor total

Kriteria pengujian instrumen, yaitu :

1. Jika $r_{hitung} \geq r_{tabel}$ dengan taraf signifikan ($\alpha = 0,05$) maka instrumen tersebut valid.
2. Jika $r_{hitung} < r_{tabel}$ dengan taraf signifikan ($\alpha = 0,05$) maka instrumen tersebut tidak valid.

Intrepretasi koefisien validitas butir soal yang diperoleh dari uji validitas dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Interpretasi koefisien uji validitas

Interval koefisien	Interpretasi
0,80 – 1,00	Sangat Valid
0,60 - 0,79	Valid
0,40 – 0,59	Cukup Valid
0,20 – 0,39	Kurang Valid
0,00 – 0,19	Tidak valid

(Arikunto, 2019)

Adapun hasil uji validitas instrumen keterampilan berpikir kritis pada materi *alternatif fuel* yang telah diujikan pada 30 responden dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Validitas Instrumen Keterampilan Berpikir Kritis

No. Soal	Pearson Correlation	Interpretasi
1	0,53	Sedang
2	0,61	Tinggi
3	0,76	Tinggi
4	0,70	Tinggi
5	0,52	Sedang

Berdasarkan Tabel 7 pengujian validitas instrumen keterampilan berpikir kritis dilakukan dengan membandingkan nilai *pearson correlation* dengan nilai r_{tabel} 0,361. Berdasarkan hasil uji validitas menunjukkan bahwa seluruh butir soal dinyatakan valid.

Adapun hasil uji validitas instrumen *sustainability literacy* pada materi *alternatif fuel* yang telah diujikan pada 30 responden dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Validitas Instrumen *Sustainability Literacy*

No. Soal	Pearson Correlation	Interpretasi
1	0,72	Tinggi
2	0,50	Sedang
3	0,79	Tinggi
4	0,86	Sangat Tinggi
5	0,57	Sedang

Berdasarkan hasil uji validitas instrumen *sustainability literacy* dilakukan dengan membandingkan nilai *pearson correlation* dengan r_{tabel} 0,361. Berdasarkan hasil uji validitas menunjukkan bahwa seluruh butir soal dinyatakan valid.

3.7.2 Uji Reliabilitas

Instrumen yang reliabel adalah instrumen yang memberikan hasil konsisten atau stabil ketika digunakan berulang kali untuk mengukur objek yang sama. Uji reliabilitas bertujuan untuk menilai sejauh mana instrumen *Pretest* dan *Posttest* dapat diandalkan dalam mengukur keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* serta memberikan hasil yang konsisten.

Perhitungan reliabilitas instrumen dapat dilakukan dengan menggunakan rumus *alpha* atau disebut juga *cronbach's alpha*. Rumus ini mengukur tingkat konsistensi internal dari sebuah instrumen. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$r_{11} = \left(\frac{n}{n-1} \right) \left(1 - \frac{\sum \delta_i^2}{\delta_i^2} \right)$$

Keterangan :

r_{11} : Reliabilitas yang dicari

n : Jumlah item pertanyaan

$\sum \delta_i^2$: Jumlah varian skor tiap item

δ_i^2 : Varian soal

Tabel 9. Interpretasi uji reliabilitas

Interval koefisien	Kriteria Reliabilitas
0,80 – 1,00	Sangat Reliabel
0,60 - 0,80	Reliabel
0,40 – 0,60	Cukup Reliabel
0,20 – 0,40	Kurang Reliabel
0,00 – 0,20	Tidak Reliabel

(Arikunto, 2019)

Adapun hasil uji reliabilitas soal keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* yang diujikan pada 30 responden dapat dilihat pada Table 10.

Tabel 10. Hasil Uji reliabilitas instrumen Keterampilan Berpikir Kritis dan *Sustainability Literacy*

Instrumen	Cronbach's Alpha	Jumlah Item
Keterampilan Berpikir Kritis	0,62	5
<i>Sustainability Literacy</i>	0,73	5

Uji reliabilitas dilakukan terhadap instrumen keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* yang terdiri dari 5 butir soal esay dengan melibatkan 30 responden. Analisis reliabilitas dalam penelitian ini menggunakan metode *cronbach's alpha* sebesar 0,62 untuk instrumen keterampilan berpikir kritis dan 0,73 untuk instrumen *sustainability literac*, yang menunjukkan bahwa soal keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* pada materi *alternatif fuel* dianggap reliabel.

3.8 Teknik Pengumpulan Data

3.8.1 Teknik Pengumpulan Data Hasil Belajar

Pengumpulan hasil belajar peserta didik yang dilakukan menggunakan tes tertulis keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy* berupa *Pretest* dan *Posttest* dalam bentuk uraian. Tes terdiri dari soal-soal yang serupa dengan tujuan untuk mengukur peningkatan hasil belajar peserta didik sebelum dan sesudah pembelajaran. Pembelajaran yang dilakukan menggunakan LKPD berbasis proyek dikelas eksperimen satu dan kelas eksperimen dua. Dari nilai *Pretest* dan *Posttest* yang diperoleh, maka dihitung rata-rata nilai *N-Gain*. Penilaian ini menggunakan rumus:

$$\text{nilai hasil belajar} = \frac{\text{skor yang diperoleh}}{\text{skor maksimum}} \times 100$$

3.8.2 Analisis Keterlaksanaan LKPD

Data analisis mengenai keterlaksanaan LKPD diperoleh dari rata-rata penilaian yang diberikan pada LKPD yang telah dikerjakan oleh para peserta didik. Hasil penilaian tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode analisis persentase, sesuai dengan yang diungkapkan oleh (R. Hake 1998).

$$\%x = \frac{\sum \text{skor diperoleh}}{\sum \text{skor maksimum}} \times 100\%$$

Hasil persentase dari data penilaian yang diperoleh dikonversi menggunakan kriteria yang diadaptasi dari Arikunto (2011).

Tabel 11. Kriteria Keterlaksanaan LKPD

Persentase	Kategori
0% -20%	Tidak Baik
20,1% - 40%	Kurang Baik
40,1% - 60%	Cukup Baik
60,1% - 80%	Baik
80,1% - 100%	Sangat Baik

(Arikunto, 2011)

Uji efektivitas LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering pada kelompok kecil dilakukan sebelum implementasi pada kelas eksperimen untuk mengetahui efektivitas LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering serta respons awal peserta didik, sekaligus mengidentifikasi kejelasan petunjuk, keterpahaman materi, dan potensi kendala. Data uji LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering pada indikator keterampilan berpikir kritis terhadap kelompok kecil disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil LKPD Berbasis Proyek pada Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

Indikator Keterampilan Berpikir Kritis	Total Skor per Indikator	Total Skor Maksimal	Rata-rata Skor %	Kategori
Melakukan klasifikasi dasar terhadap masalah	119	128	92,97	Sabgat Baik
Mengumpulkan informasi dasar	113	128	88,28	Sangat Baik
Membuat keputusan dengan informasi yang tersedia	117	128	91,41	Sangat Baik
Mengidentifikasi asumsi dan membuat keputusan untuk mengambil suatu tindakan	114	128	89,06	Sangat Baik
Membuat keputusan untuk mengambil suatu tindakan	338	384	88,02	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 12, seluruh indikator keterampilan berpikir kritis berada pada kategori sangat baik dengan persentase di atas 88%. Indikator klasifikasi masalah memperoleh nilai tertinggi (92,97%), diikuti kemampuan membuat keputusan berdasarkan informasi (91,41%), sedangkan indikator lainnya juga menunjukkan capaian tinggi. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa LKPD efektif dalam melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik. Data uji LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering pada indikator *sustainability literacy* terhadap kelompok kecil disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil LKPD Berbasis Proyek pada Indikator *Sustainability Literacy*

Indikator Keterampilan Berpikir Kritis	Total Skor per Indikator	Total Skor Maksimal	% Rata-rata Skor	Kategori
Pengetahuan	514	640	80,31	Sangat Baik
Keterampilan	616	768	80,21	Sangat Baik
Sikap	429	512	83,79	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 13, seluruh aspek *Sustainability Literacy* peserta didik berada pada kategori sangat baik dengan persentase di atas 80%, meliputi aspek sikap (83,79%), pengetahuan (80,31%), dan keterampilan (80,21%). Hal ini menunjukkan bahwa peserta didik tidak hanya memahami konsep keberlanjutan, tetapi juga mampu menerapkannya serta memiliki kepedulian terhadap

lingkungan. Secara keseluruhan, penggunaan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering efektif dalam mengembangkan *Sustainability Literacy* peserta didik.

3.9 Teknik Analisis Data

Perolehan data dari penelitian yang dilakukan mencakup hasil *Pretest* dan *Posttest* yang digunakan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy*. Data tersebut dianalisis dengan metode *N-Gain*. Setelah melakukan analisis *N-Gain*, maka dilakukan pengujian hipotesis. Sebelum pengujian hipotesis, data terlebih dahulu dianalisis menggunakan uji normalitas serta uji homogenitas untuk menentukan apakah pengujian hipotesis akan dilakukan dengan metode parametrik atau nonparametrik.

3.9.1 Hitung N-Gain

Hitung *N-Gain* atau *normalized gain* merupakan selisih antara kemampuan awal dengan kemampuan akhir peserta didik setelah perlakuan. *N-Gain* diperoleh dengan pengurangan skor *Pretest* dengan skor *Posttest* dibagi dengan skor maksimum lalu dikurang skor *Pretest*. Rumus dapat dilihat sebagai berikut.

$$g = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{max} - S_{pre}}$$

Keterangan :

g : *N-Gain*

S_{post} : Skor *Posttest*

S_{pre} : Skor *Pretest*

S_{max} : Skor Maksimum

Hasil perolehan nilai dari *N-Gain* dapat diinterpretasikan ke dalam Tabel 12.

Tabel 14. Klasifikasi Rata-Rata *N-Gain*

Rentang Nilai	Kategori
$g \geq 0,7$	Tinggi
$0,7 > g > 0,3$	Sedang
$g \leq 0,3$	Rendah

(Husein, 2015)

3.9.2 Uji Normalitas

Uji Normalitas digunakan untuk mengetahui apakah data dalam penelitian berdistribusi normal atau tidak. Pada penelitian ini, uji normalitas dilakukandengan menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov* melalui bantuan *software* SPSS. Adapun hipotesisi yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut:

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Dengan dasar pengambilan keputusan pada pengujian ini yaitu :

1. Jika nilai *Asymp.sig* atau taraf signifikan $> 0,05$ maka H_0 diterima yang berarti data dapat dianggap berdistribusi normal.
2. Jika nilai *Asymp.sig* atau taraf signifikan $< 0,05$ maka H_0 ditolak yang berarti data dapat dianggap tidak berdistribusi normal.

3.9.3 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dimaksudkan untuk menentukan keseragaman sampel dalam suatu penelitian. Jika data yang diperoleh bersifat homogen, maka akan dilanjutkan dengan uji hipotesis statistik parametrik. Sebaliknya, jika data tidak homogen, uji hipotesis non-parametrik akan diterapkan. Uji homogenitas ini menggunakan rumus berikut:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Keterangan :

S_1^2 : Varians terbesar

S_2^2 : Varians terkecil

3.9.4 Uji Hipotesis

1. Uji Paired Sample T-test

Uji Paired Sample T-test adalah metode analisis yang digunakan untuk menilai suatu efektivitas perlakuan yang ditandai dengan adanya perbedaan rata-rata yang signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah perlakuan diberikan. Adapun hipotesis yang akan dilakukan pengujian adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada peningkatan yang signifikan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

H_1 : Terdapat peningkatan yang signifikan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

H_0 : Tidak ada peningkatan yang signifikan *Sustainability Literacy* peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

H_1 : Terdapat perbedaan peningkatan yang signifikan *Sustainability Literacy* peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering.

Pedoman pengambilan keputusan berdasarkan taraf signifikan = 0,05. H_0 ditolak jika $\text{sig} < \alpha$ 0,05 dan sebaliknya, H_0 diterima jika $\text{sig} \geq \alpha$ 0,05.

2. Uji *One Way Anova*

Uji *One Way ANOVA* digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan rata-rata antara lebih dari dua kelompok data berdasarkan satu faktor perlakuan. Dalam penelitian ini, uji *One Way ANOVA* digunakan untuk menganalisis perbedaan N-Gain keterampilan berpikir kritis dan *Sustainability Literacy* peserta didik berdasarkan gaya belajar. Hipotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada perbedaan *N-Gain* keterampilan berpikir kritis peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan gaya belajar.

H_1 : Terdapat perbedaan *N-Gain* keterampilan berpikir kritis peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan gaya belajar.

H_0 : Tidak ada perbedaan *N-Gain Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan gaya belajar.

H_1 : Terdapat perbedaan *N-Gain Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas eksperimen berdasarkan karakteristik gaya belajar.

Pedoman pengambilan keputusan berdasarkan taraf signifikan = 0,05. H_0 ditolak jika $\text{sig} < \alpha$ 0,05 dan sebaliknya, H_0 diterima jika $\text{sig} \geq \alpha$ 0,05

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari penelitian ini dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Efektivitas LKPD terhadap keterampilan berpikir kritis
Berdasarkan penerapan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering dengan model PjBL-STEM efektif dalam melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik. Hal ini ditunjukkan oleh hasil uji *paired sample t-test* yang diperoleh $\text{sig} < 0,05$ yang artinya terdapat peningkatan yang signifikan antara nilai *Pretest* dan *Posttest* keterampilan berpikir kritis.
2. Efektivitas LKPD terhadap *sustainability literacy*
Berdasarkan penerapan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah daun kering dengan model PjBL-STEM efektif dalam meningkatkan *sustainability literacy* peserta didik. Hal ini ditunjukkan oleh hasil uji *paired sample t-test* yang diperoleh $\text{sig} < 0,05$ yang artinya terdapat peningkatan yang signifikan antara nilai *Pretest* dan *Posttest sustainability literacy*.
3. Perbedaan efektivitas berdasarkan gaya belajar
Berdasarkan hasil *One Way Anova* keterampilan berpikir kritis memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,63 yang artinya $> 0,05$, sehingga tidak ada perbedaan yang signifikan dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Hasil *One Way Anova sustainability literacy* memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,30 yang artinya $> 0,05$, sehingga tidak ada perbedaan yang signifikan dalam meningkatkan *sustainability literacy*. Berdasarkan *N-Gain* gaya belajar keterampilan berpikir kritis gaya auditori lebih besar dibandingkan

gaya visual dan kinestetik, dengan nilai *N-Gain* gaya belajar auditori sebesar 0,75. Sedangkan *N-Gain* gaya belajar *sustainability literacy* gaya belajar kinestetik lebih besar dibandingkan gaya belajar visual dan gaya belajar auditori dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,77.

5.2 Saran

Berdasarkan penemuan penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat sebagai berikut:

1. Pembelajaran menggunakan LKPD berbasis proyek dengan model PjBL-STEM perlu difokuskan pada penguatan tahap *discovery* dan *application*, karena pada tahap ini peserta didik menunjukkan kemampuan dalam menganalisis solusi dan mengambil keputusan masih berada kategori yang bervariasi. Optimalisasi dapat dilakukan untuk memperkuat kemampuan analisis dan pengambilan keputusan peserta didik.
2. Pengembangan LKPD selanjutnya dapat menambahkan komponen refleksi individu guna memperkuat integrasi aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap dalam *sustainability literacy*.
3. Penelitian lanjutan dapat menguji implementasi LKPD berbasis proyek pada materi fisika lainnya atau jenjang pendidikan yang berbeda untuk melihat konsistensi efektifitas dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan *sustainability literacy*

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, Linda, Maisyaroh, and Ahmad N., (2024). "Menerapkan Teori Pembelajaran Kognitivisme, Konstruktivisme, Dan Teori Belajar Sosial Melalui Teknologi." *Proceedings Series of Educational Studies*: 185–91.
- Ajeng, Arida, and Wahyu A., (2025). "Validity and Practicality of Interactive Electronic Student Worksheets (E-Lkpd) Oriented on Project Based Learning on Envir." 14(2): 483–91.
- Alda, Sundahry, and Tri W. A. (2025). "Project-Based Learning Improves Process and Outcomes of Grade V Science Learning." *Indonesian Journal of Innovation Studies* 26(4): 1–14.
- Anjani, Sherly J, Muhammad I.S., Hariyani S., and Jamiu T. S., (2023). "Pengaruh Model Project Based Learning Berbantuan Laboratorium Virtual Terhadap Keterampilan Berpikir Kritis.
- Ariadila, Salsa Novianti et al. (2023). "Analisis Pentingnya Keterampilan Berpikir Kritis Terhadap Bagi Siswa." *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 9(20): 664–69.
- Ashlan, Said, and Firayani Firayani. (2025). "Contextual Learning of Science Based on Environmental Problems Around Schools." *Scientica Education Journal* 2(4): 1–9.
- Ayu, M., Salsabila M. A., Bunga A. N., and Rahayu I. (2023). "Penerapan Project-Based Learning Pada Topik Pengelolaan Sampah Untuk Meningkatkan Sustainability Literacy Siswa Terdampak Gempa Bumi." *Edufortech* 8(1): 61–70.
- Azka, M.Z, Masrukan, and T.S.N Asih. (2024). "Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Model Problem Based Learning Dengan Asesmen Dinamis Berpendekatan Pembelajaran Berdiferensiasi Ditinjau Dari Kemandirian Belajar."
- Bariyyah, Khairul. (2021). "Problem Solving Skills: Essential Skills Challenges for the 21st Century Graduates." *Jurnal EDUCATIO: Jurnal Pendidikan Indonesia* 7(1): 71.
- Bryce, T. G.K., and E. J. Blown. (2024). "Ausubel's Meaningful Learning Re-Visited." *Current Psychology* 43(5): 4579–98.

- Damayanti, Amira A., Zakiya N. F., Nabilah N. A., and Yose K. (2021). “Yang Asalnya Dari Makhluk Hidup Serta Bersifat Sangat Mudah Terurai, Dan Sampah Anorganik (.” 17(3): 182–90.
- Decamps, and Aurélien. (2017). “Analysis of Determinants of a Measure of *Sustainability Literacy*; Background Paper Prepared for the 2017/8 Global Education Monitoring Report, Accountability in Education: Meeting Our Commitments; 2017.” : 1–31. .
- Décamps and Aurélien. (2017). “Sulitest: A Collaborative Initiative to Support and Assess *Sustainability Literacy* in Higher Education.” *International Journal of Management Education* 15(2): 138–52.
- Defi T.a S. (2022). “Penerapan Pembelajaran Berbasis Masalah Pada Siswa Sd Untuk Menumbuhkan Kemampuan Berpikir Kritis.” *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Guru Sekolah Dasar* 2(1): 82–96.
- Dewi, Ni Nyoman S. K., Ida B. P. A., and I Gede M. (2023). “Project Based Learning Berbasis STEM: Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Dan Hasil Belajar Siswa.” *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru* 6(1): 133–43.
- Diamar, Mazaya Raudina, Limbah Kelapa Sawit, and Literasi Lingkungan. (2025) “Penerapan project based learning (pjbl) dalam pendidikan lingkungan dengan memanfaatkan limbah.” *Proceeding Seminar Nasional IPA XV* 1(1): 526–35.
- Diana, N., Yohannes, and Y. Sukma. (2021). “The Effectiveness of Implementing Project-Based Learning (PjBL) Model in STEM Education: A Literature Review.” *Journal of Physics: Conference Series* 1882(1).
- Dini D.N. P., Rahmawati D, MuhyiatulF., and Fitri O. R., (2025). “Analisis *Sustainability Literacy* (Literasi Keberlanjutan) Peserta Didik Fase E Pada Isu Bioteknologi Di SMAN 12 Padang.” *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan* 4(1): 2559–65.
- Draghici and Anca. (2019). “Education for Sustainable Development.” *MATEC Web of Conferences* 290: 16–28.
- Effendi, Muhammad I., and Yoto. (2024). “Pembelajaran Abad-21 Melalui Model Project Based Learning.” *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual* 9(1): 67–73.

- Elfeky, Abdellah I. Mohammed (2025). "How Project-Based Learning Improves Critical Thinking Skills for Sustainable Development." *International Journal of Environmental Sciences* 11(1S): 650–58.
- Etikan and Ilker. (2016). "Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling." *American Journal of Theoretical and Applied Statistics* 5(1): 1.
- Facione, P. A. (2015). "Critical Thinking: What It Is and Why It Counts. Insight Assessment." *Insight Assessment* 5(1): 1–23.
- Fadilah, Himmi R. (2023). "Effect of Percentage Variation of Ketapang Fruit Biobricks on Health Value and Combustion Rate." *Indonesian Review of Physics* 6(2): 92–98.
- Fadillah, (2025). "Assessment of Teaching Strategies, Utilization of Student Worksheets, and Student Engagement in Science Education." *International Journal of Education, Information Technology, and Others* 8(1): 198–207.
- Farhana., (2025). Pengembangan LKPD Berbasis Proyek Pengolahan Limbah Daun Kering yang Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis dan *Sustainability Literacy*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Fitriyah, Anis, and Shefa D. R., (2021). "Penerapan Metode Project Based Learning." *Journal of Education* 3(1): 7.
- Greiff, Samuel, Daniel V. H, and Joachim F. (2013). "Perspectives on Problem Solving in Educational Assessment: Analytical, Interactive, and Collaborative Problem Solving." *Journal of Problem Solving* 5(2): 71–91.
- Hafni, R. N., T. Herman, E. Nurlaelah, and L. Mustikasari. (2020). "The Importance of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education to Enhance Students' Critical Thinking Skill in Facing the Industry 4.0." *Journal of Physics: Conference Series* 1521(4): 0–7.
- Hakim, Niswa K., Dhara C. P. S., and Ichsan F. R. (2025). "Penerapan Project-Based Learning Berbasis STEM Dalam Upaya Meningkatkan Literasi Siswa SMA." *Jurnal Nyanadassana: Jurnal Penelitian Pendidikan, Sosial dan Keagamaan* 4(1): 48–60.
- Haq, Zia Ul. (2025). "The Critical Review of Social Sciences Studies Effect of STEM PBL on Student's Engagement The Critical Review of Social." *Sciences Studies* 3(1): 2025.
- Harefa, Amin O. (2013). "Penerapan Teori Pembelajaran Ausebel Dalam Pembelajaran." *Majalah Ilmiah Warta Dharmawangsa*: 43–55.

- Haskin, Safril (2024). "The Effect of Problem Based Learning Models and Auditory Learning Styles on Internship Learning Outcomes in Elementary Schools." *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar* 8(3): 547–57.
- Herlita, Fintya, Sri Y., and Icha K.W. (2023). "The Effect of the PjBL-STEM Model on Students' Critical Thinking Ability in Science Learning." *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA* 9(2): 192–202.
- Hussim, Hairunnisa, Roslinda R., and Niyazi E. (2024). "Incorporating Environmental Elements in Learning STEM: A Systematic Literature Review." *International Journal of Social Science Research* 13(1): 1.
- Al Jarwi, Muh. Arafatir, Kosim, Joni R. and A. Wahab J. (2024). "Dampak Penggunaan E-Modul IPA Terintegrasi STEM Untuk Penguatan Sustainable Development Goals (SDGs) Dan Profil Pelajar Pancasila Dimensi Berpikir Kritis: Literatur Review." *Kappa Journal* 8(2): 307–13.
- Kamaruddin, Mahamsiatus, Manisah M. S., and Azlina Y. (2023). "Investigating the 6Cs Competency Levels in TnL at IPGKPT." *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development* 12(3): 922–29.
- Kamila, S, dan I Maryani. 2025. "Efektivitas Pembelajaran Stem-Pjbl Dalam Meningkatkan Regulasi Diri Dan Kemampuan Pemecahan Masalah Ipa Kelas 5 Sekolah." *Renjana Pendidikan Dasar* 5(2).
- Kasrun, Andreas W., Willyanto A., dan Teng S. (2016). "Karakteristik Pembakaran Briket Dari Limbah Daun Pohon Bintaro." *Jurnal Teknik Mesin* 16(2): 64–70.
- Laela, Fatmah N., Ahmad K., and Bambang S. (2024). "Efektivitas Penerapan Education for Sustainable Development Melalui Pembelajaran Berbasis Proyek Terhadap Sustainability Consciousness Siswa Kelas 4 MI Ma'arif Kliwonan Wonosobo Pada Mata Pelajaran IPAS Tahun Pelajaran 2023/2024." *JICN: Jurnal Intelek dan Cendekiawan Nusantara* 1(2): 2968–72.
- Lafifa, Fitri (2023). "Integrated STEM Approach to Improve 21st Century Skills in Indonesia: A Systematic Review." *International Journal of STEM Education for Sustainability* 3(2): 252–67.
- Lee, Mi Yeon, and Jean S. Lee. (2025). "Project-Based Learning as a Catalyst for Integrated STEM Education." *Education Sciences* 15(7): 1–8.

- LEUNG, Wing Sze. (2022). "Ill-Structured Problems and the Value of Comparable Perspectives." *Asian Journal of the Scholarship of Teaching and Learning* 12(2): 163–69.
- Li, Zimu (2024). "The Role of Cognitive Processes in Problem Solving." *Research and Commentary on Humanities and Arts* 2(2): 116–18.
- Lina, and Amidi. (2023). "Telaah Model Project Based Learning Terintegrasi STEM Terhadap Literasi Matematika Siswa." *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika* 6: 334–41.
- Lund, Travis J, and Marilyne Stains. (2015). "The Importance of Context : An Exploration of Factors Influencing the Adoption of Student-Centered Teaching among Chemistry , Biology , and Physics Faculty." *International Journal of STEM Education*.
- Mai, Nu Nu, and Yoshi T. (2020). "Education Sciences Testing the Effectiveness of Transfer Interventions." *Education Sciences*: 1–14.
- Markula, Anette, and Maija A. (2022). "The Key Characteristics of Project-Based Learning: How Teachers Implement Projects in K-12 Science Education." *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research* 4(1).
- Maulida, Ana, and Dwi Y. (2025). "E- LKPD Berbasis Project Based Learning Berpendekatan STEM Materi Fluida Dinamis Untuk Meningkatkan Literasi Sains." 9(2): 92–100.
- Mayer, Richard E. (2024). "The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning." *Educational Psychology Review* 36(1): 1–25.
- Mubharokh, Angge S., Ratu I. I. P., and Nyimas A. (2023). "Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Problem Based Learning Pada Materi Pola Bilangan." *JURNAL e-DuMath* 9(1): 29–39.
- Mulhayatiah, Diah, Hilda S. Ayuningrat, Rizki H. and Chaerul R., (2024). "Relationship Between Learning Style and Critical Thinking Skill Through Hybrid Learning on the Topic of Work and Energy." *KnE Social Sciences*.
- Muñoz A., Graciela, Ileana M. Greca, and Irene A. (2025). "Problem-Based Learning as a Strategy for Teaching Physics in Technical–Professional Higher Education: A Case Study in Chile." *Education Sciences* 15(8): 1–20.
- Muyassaroh, Izzah, Septian M., and Agnestasia R., (2022). "Model Project Based Learning Melalui Pendekatan STEM Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa SD." *Jurnal Educatio FKIP UNMA* 8(4): 1607–16.

- Nananukul, Naramethi, Muhammad N.A., Trinh M. H., and Nupap S. (2024). "Project-Based Learning and Critical Thinking Development: A Mixed-Methods Analysis in Undergraduate Education." *Global Synthesis in Education Journal* 2(3): 45–59.
- Natural, (2024). "uji aktivitas antioksidan ekstrak daun ketapang (terminalia catappa l .) menggunakan metode β -caroten." 2(3): 186–96. Makassar
- Novian I. S., Tasya, Anna R., and Hanifa R. R. (2025). "Effectiveness of PjBL Worksheet Based on Local Potential to Improve Critical and Creative Thinking Skills of Phase E High School Students." *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research* 6(1): 242–52.
- Nurhayati, Tiara, Deka Z., Muhammad D., and Nurzarah A. (2025). "Analisis Teori Belajar Konstruktivisme." *Jurnal Ilmiah PGMI STAI Al-Amin Gersik* 4(1): 161–75. <https://ejournal.staialamin.ac.id/index.php/pgmi>.
- Nurhidayati, Euis. (2017). "Constructivism Pedagogy in Indonesian Education Practice." *Indonesia Journal of Educational Counseling* 1(1): 1–14.
- Nurhilal, Ootong, Vieri A., and Wahyu K. S. (2025). "konversi energi briket sampah daun dan ranting pohon Pemanasan Global Merupakan Salah Satu Permasalahan Yang Menarik Perhatian Dunia . Pemanasan Global Adalah Peningkatan Suhu Permukaan Bumi Yang Disebabkan Oleh Terperangkapnya CO₂ , CH₄ , N₂O , Dan C." 14(02): 75–83.
- Nurul Hidayah., Iin Astarinugrahini., Lulu Maknunah. (2014). "Briket Cattapa' Alternatif Briket Bioarang Terbarukan Berbahan Buah Ketapang (Terminalia Cattapa) Yang Ramah Lingkungan." *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta* 9(1): 81–89.
- O'Toole, Jacqueline. (2026). "Enhancing Critical and Creative Thinking in Sustainability Education through Reflective Practice and Project-Based Learning." *International Journal of Management Education* 24(2).
- Oliveira, Marcos L.S. (2023). "Hazardous Elements in Sediments Detected in Former Decommissioned Coal Mining Areas in Colombia: A Need for Environmental Recovery." *Sustainability (Switzerland)* 15(10): 1–18.
- Olsson, Daniel, N. Gericke, and J. Boeve. (2022). "The Effectiveness of Education for Sustainable Development Revisited—a Longitudinal Study on Secondary Students' Action Competence for Sustainability." *Environmental Education Research* 28(3): 405–29.
- Pashler, Harold, Mark, Doug R., and Robert B. (2009). "Concepts and Evidence."

9(3): 105–19.

- Pertiwi, Adelia Ayu, Suhartono Suhartono, dan Wahyudi Wahyudi. (2025). “Penerapan Model Project Based Learning (PjBL) Berbantuan LKPD Berbasis STEAM Untuk Meningkatkan Pembelajaran Bahasa Indonesia Di Kelas III SD Negeri 1 Adikarso.” *Kalam Cendekia: Jurnal Ilmiah Kependidikan* 13(1).
- Pertiwi, Tasya Umi, Dwi Oetomo, and Bowo Sugiharto. (2024). “The Effectiveness of STEM Project-Based Learning in Improving Students’ Environmental Literacy Abilities.” *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)* 10(2): 476–85.
- Pozuelo-Muñoz, Jorge, Elena Calvo-Zueco, Ester Sánchez-Sánchez, and Esther Cascarosa-Salillas. (2023). “Science Skills Development through Problem-Based Learning in Secondary Education.” *Education Sciences* 13(11).
- Purwaningsih, Endang et al. (2020). “Improving the Problem-Solving Skills through the Development of Teaching Materials with STEM-PjBL (Science, Technology, Engineering, and Mathematics-Project Based Learning) Model Integrated with TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge).” *Journal of Physics: Conference Series* 1481(1).
- Putri Galuh Ningtiaz, Sutopo, dan Hary Suswanto. (2025). “Penerapan LKPD Untuk Meningkatkan Keterampilan Critical Thinking Dan Collaboration.” *Didaktika: Jurnal Kependidikan* 14(3): 5731–42.
- Qureshi, Saad Mahmood Qureshi. (2020). “Learning by Sustainable Living to Improve *Sustainability Literacy*.” *International Journal of Sustainability in Higher Education* 21(1): 161–78.
- R. Hake, Richard. (1998). “Interactive-Engagement versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses.” *American Journal of Physics* 66(1): 64–74.
- Bidita R., Latifa. (2024). “Vygotsky’s Zone of Proximal Development of Teaching and Learning in STEM Education.” *International Journal of Engineering Research and Technology* 13(08): 389–94.
- Rahman, Shohanur. (2024). “Scaffolding and Zone of Proximal Development (ZPD) in Practice : Challenges and Benefits of Constructivist Teaching in a Government College of Bangladesh.” *Journal of Saadat College* 8304(December).
- Rahmawati, Yuli (2022). “Students’ Engagement in Education as Sustainability: Implementing an Ethical Dilemma-STEAM Teaching Model in Chemistry

- Learning.” *Sustainability (Switzerland)* 14(6).
- Ramadhani, Wulan Suci, Utiya Azizah, and Harun Nasrudin. (2024). “Project-Based Learning on Critical Thinking Skills in Science Learning: Meta-Analysis.” *SAR Journal - Science and Research* 7(2): 136–42.
- Reswara, Talitha R. et al. 2024. “Increasing Scientific Literacy Abilities through SSI Integrated PjBL-STEAM Learning Model on Energy and Simple Machine Topics.” *Journal of Physics: Conference Series* 2866(1).
- Retnaningsih, Cicilia. 2023. “The Use of Teaching Tools To Improve Learning Outcomes in Science Subject in Class Iv Sd Negeri 6 Buntok.” *Multi Science Journal* 21(1): 17–24.
- Rush, Diana Laboy. 2010. “Integrated STEM Education through Game-Based Learning.” : 2238–42.
- Rusmin, Lisnawati, and Yuni Misrahayu. 2024. “SOCIAL Critical Thinking and Problem- Solving Skills in the 21st Century Open Access.”
- Sanchez, Sandra Jennina et al. 2025. “Systematic Literature Review: A Typology of *Sustainability Literacy* and Environmental Literacy.” *Frontiers in Education* 10.
- Sanda Lembang, Miska, Syarifatul Jannah, Christine Dyta Nugraeni, and M. Gandri Haryono. 2023. “Phytochemical Test of Ketapang Leaf (*Terminalia Catappa*) with Age Variation and Its Application with EM4 on the Growth of *Tilapia (Oreochromis Niloticus)*.” *Arwana: Jurnal Ilmiah Program Studi Perairan* 5(1): 16–21.
- Saparin, and Wijianti Sari E. 2016. “Pemanfaatan Limbah Organik Untuk Pembuatan Briket Sebagai Energi Alternatif Untuk Kebutuhan Masyarakat Di Desa Kulur Ilir Kabupaten Bangka Belitung.” *Jurnal Energi Terbarukan*: 18–24.
- Sari, Moni Permata. 2025. “Analisis Kebutuhan E-LKPD Berbasis Problem Based Learning Untuk Memfasilitasi Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Pada Materi Dinamika Partikel.” 6(2).
- Setiawan, Tri Yudha, Destrinelli Destrinelli, and Bunga Ayu Wulandari. 2022. “Keterampilan Berfikir Kritis Pada Pembelajaran IPA Menggunakan Model Pembelajaran Radec Di Sekolah Dasar : Systematic Literature Review.” *Justek : Jurnal Sains dan Teknologi* 5(2): 133.
- Setyono, Agus Eko, and Berkah Fajar Tamtomo Kiono. (2021). “Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak Dan Gas Bumi Indonesia

- Tahun 2020 – 2050.” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 2(3): 154–62.
- Shaidullina, Albina R. (2023). “Learning Styles in Science Education at University Level: A Systematic Review.” *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 19(7).
- Smith, Kathy., (2022). “Principles of Problem-Based Learning (PBL) in STEM Education: Using Expert Wisdom and Research to Frame Educational Practice.” *Education Sciences* 12(10).
- Sontang, Muhammad, and Dara A. (2024). “Potential of Dry Leaf Waste as A Raw Material for Charcoal Briquettes Preparation as an Alternative Fuel.” 09(02): 121–31.
- Stančin, H., H. Mikulčić, X. Wang, and N. Duić. (2020). “A Review on Alternative Fuels in Future Energy System.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 128 (2019).
- Stiggins, R. J., & Conklin, N. F. (1997). *In teachers’ hands: Investigating the practices of classroom assessment*. Albany, NY: State University of New York Press.
- Suharsimi, Arikunto. 2011. “Arikunto, S. (2011). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Bumi Aksara Jakarta..Pdf.”
- Susiawati, Dadan M., Angko W. (2020). “Jurnal Basicedu. Jurnal Basicedu,.” *Jurnal Basicedu* 5(5): 3(2), 524–32..
- Thepsithar, Prapisala, Koh Eng K. B. (2020). “Alternative Fuels for International Shipping.” *Indonesiawaterportal.Com*.
- Verawati, Ni Nyoman S. P. (2024). “How Problem-Based Learning Enhances Critical Thinking? An Analysis of Contexts, Methods, and Findings from Previous Research.” *International Journal of Essential Competencies in Education* 3(2): 200–216.
- Wandi., Agus., Setiyo H. (2015). “Pemanfaatan Limbah Daun Kering Menjadi Briket Untuk Bahan Bakar Tungku.” *Jurnal Teknologi Pertanian* 1(1): 1–6.
- Wati, Pulia, Toto N. and Candra U., (2024). “Efektivitas PjBL-STEM Terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Dan Motivasi Belajar Siswa Sekolah Dasar.” *Cetta: Jurnal Ilmu Pendidikan* 7(2): 126–43.
- Widyasari, Galuh S.(2024). “Perbandingan Limbah Sekam Padi Dan Kulit Singkong Terhadap Intensitas Nyala Lampu Sebagai Sumber Energi

Alternatif Pengganti Baterai.” *Social, Humanities, and Educational Studies (SHES): Conference Series* 7(3): 2159–64.

Wu., Hao., Gyöngyvér M. (2022). “Analysing Complex Problem-Solving Strategies from a Cognitive Perspective: The Role of Thinking Skills.” *Journal of Intelligence* 10(3).

Yohananingtyas, Nataliena, and Harjito. (2024). “Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia Implementasi Well-Structured Dan Ill-Structured Problem Untuk Analisis Keterampilan Berpikir Kritis Dan Kolaboratif Peserta Didik.” *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia* 18(2): 141–50.

Zickafoose, Alexis, and Gary W. (2023). “Incorporating Field Experience into International Agricultural Development Programs.” *Education Sciences* 13(5).