

**EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS *PROJECT* PENGOLAHAN
LIMBAH SERBUK KAYU UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KREATIF
DAN *SUSTAINABILITY LITERACY***

(Skripsi)

Oleh

**Kharinta Oxana Ferodova
NPM 2213022058**



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

ABSTRAK

EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS *PROJECT* PENGOLAHAN LIMBAH SERBUK KAYU UNTUK MELATIHKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KREATIF DAN *SUSTAINABILITY LITERACY*

Oleh

KHARINTA OXANA FERODOVA

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh efektivitas LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu untuk melatih keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* pada materi energi alternatif. Penelitian ini dilakukan di SMAN 1 Gadingrejo dengan metode *quasi experiment* dengan desain penelitian *pretest-posttest control group design*. Sampel yang digunakan adalah kelas X.10 sebagai kelas eksperimen dan kelas X.11 sebagai kelas kontrol. Instrumen yang digunakan berupa soal *essay*. Pembelajaran dengan menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu memiliki pengaruh dalam melatih keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik. Hal ini dilihat dari rata-rata *N-Gain* keterampilan berpikir kreatif pada kelas eksperimen sebesar 0,53 lebih besar daripada kelas kontrol dengan nilai rata-rata *N-Gain* sebesar 0,29. Sedangkan nilai rata-rata *sustainability literacy* pada kelas eksperimen sebesar 0,49 lebih besar daripada kelas kontrol dengan nilai rata-rata *N-Gain* sebesar 0,14. Selain itu, hal tersebut didukung dengan data hasil uji *Independent Sampel T-Test* dan uji manova yang diperoleh nilai *sig. (2-tailed)* $0,01 < 0,05$ dan $0,00 < 0,05$ untuk keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy*. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata hasil belajar keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* setelah menggunakan LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan peserta didik yang menggunakan LKPD konvensional. Hal tersebut juga diperkuat dengan uji *effect size* ANCOVA keterampilan berpikir kreatif sebesar 0,637 dengan kategori sedang. Sedangkan, hasil uji *effect size* ANCOVA *sustainability literacy* sebesar 0,548 dengan kategori sedang.

Kata Kunci: *Project*, Keterampilan Berpikir Kreatif, LKPD, *Sustainability Literacy*

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF PROJECT-BASED LKPD IN PROCESSING WOOD DUST WASTE TO TRAIN CREATIVE THINKING SKILLS DAN *SUSTAINABILITY LITERACY*

By

KHARINTA OXANA FERODOVA

This study aims to determine the effectiveness of project-based worksheets on wood dust waste processing in developing creative thinking skills and sustainability literacy in alternative energy. This research was conducted at SMAN 1 Gadingrejo using a quasi-experimental method with a pretest-posttest control group design. The sample used was class X.10 as the experimental class and class X.11 as the control class. The instrument used was an essay question. Learning using project-based worksheets on wood waste processing had an effect on training students' creative thinking skills and sustainability literacy. This can be seen from the average N-Gain of creative thinking skills in the experimental class of 0.53, which is greater than the control class with an average N-Gain value of 0.29. Meanwhile, the average sustainability literacy score in the experimental class was 0.49, which is greater than the control class with an average N-Gain value of 0.14. In addition, this is supported by the results of the Independent Sample T-Test and MANOVA tests, which obtained sig. (2-tailed) values of $0.01 < 0.05$ and $0.00 < 0.05$ for creative thinking skills and sustainability literacy. This shows that there is a difference in the average learning outcomes of creative thinking skills and sustainability literacy after using project-based LKPD on wood powder waste processing with students who used conventional LKPD. This is also reinforced by the ANCOVA effect size test for creative thinking skills of 0.637 in the moderate category. Meanwhile, the ANCOVA effect size test results for sustainability literacy were 0.548 in the moderate category.

Keywords : *Project, Creative Thinking Skills, LKPD, Sustainability Literacy*

**EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS *PROJECT* PENGOLAHAN
LIMBAH SERBUK KAYU UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KREATIF
DAN *SUSTAINABILITY LITERACY***

Oleh

KHARINTA OXANA FERODOVA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PENDIDIKAN**

Pada

**Progran Studi Pendidikan Fisika
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Ala**



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

Judul Skripsi : **EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS
PROJECT PENGOLAHAN LIMBAH
SERBUK KAYU UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KREATIF
DAN SUSTAINABILITY LITERACY**

Nama Mahasiswa : **Kharinta Oxana Ferodova**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2213022058**

Program Studi : **Pendidikan Fisika**

Fakultas : **Keguruan dan Ilmu Pendidikan**



1. **Komisi Pembimbing**


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


Dr. Fatkhur Rohman, M.Pd.
NIP 19910716 202421 1 011

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 : Dr. Fathkur Rohman, M.Pd.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si**

2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pengetahuan



Dr. Albet Maydiantoro, S.Pd., M.Pd.

NIP 19870504 201404 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Mei 2026

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah:

Nama : Kharinta Oxana Ferodova
NPM : 2213022058
Program Studi : Pendidikan Fisika
Fakultas/Jurusan : KIP/Pendidikan MIPA
Alamat : Jalan Jambu Batu, Dusun Pujosari, Desa Mataram,
Kec. Gadingrejo, Kab. Pringsewu, Prov. Lampung

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

Bandar Lampung, 06 Mei 2026



Kharinta Oxana Ferodova

NPM 2213022058

RIWAYAT HIDUP

Penulis skripsi ini bernama lengkap Kharinta Oxana Ferodova, dilahirkan di Kabupaten Tanggamus pada tanggal 22 Oktober 2003 merupakan Putri pertama dari pasangan Bapak Edi Ismanto dan Ibu Yusdiana. Penulis mengawali pendidikan formal pada tahun 2010 sebagai peserta didik di SD Negeri 3 Mataram dan lulus pada tahun 2016. Penulis melanjutkan pendidikan formal ke jenjang sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Gadingrejo pada tahun 2016 dan lulus pada tahun 2019 dan SMA Negeri 1 Gadingrejo pada tahun 2019 dan lulus pada tahun 2022. Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika, Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung.

Selama menempuh pendidikan di Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Lampung penulis pernah menjadi Anggota Media Center Aliansi Mahasiswa Pendidikan Fisika (Almafika) FKIP Unila pada tahun 2023. Selanjutnya pada tahun 2025 penulis melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) dan program Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) di Desa Mekar Indah Jaya, Kecamatan banjar Baru, Kabupaten Tulang Bawang dan berperan sebagai Bidang Publikasi, Dokumentasi, dan Desain.

MOTTO

“Somewhere, something incredible is waiting to be known.”

(Carl Sagan)

“it will pass”

(Rachel Venya)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah *rabbi'l'amin*, dengan mengucapkan syukur atas kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, serta shalawat beriring salam selalu tercurah 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. Orang tua tercinta, Bapak Edi Ismanto dan Ibu Yurdiana yang telah berkorban begitu banyak, baik waktu, tenaga, maupun materi, demi kelancaran studi penulis. Rasanya tidak ada kata yang mampu sepenuhnya menggambarkan besarnya rasa terima kasih saya. Terima kasih atas segala yang telah diberikan, Papa dan Mama, karena kalian adalah sumber kekuatan saya. Semoga suatu hari nanti saya dapat membalas seluruh kebaikan kalian.
2. Khalista Martha Ramadita, adik tersayang saya terima kasih atas dukungan, doa, dan semangat yang selalu kamu berikan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi salah satu *support system* saya selama ini. Semoga perjalanan ini juga dapat menginspirasi langkahmu untuk meraih impian dan cita-cita.
3. Keluarga besar yang selalu memberikan motivasi, dukungan, 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 *rabbi'l'amin*, puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Efektivitas LKPD Berbasis *Project* Pengolahan Limbah Serbuk Kayu untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kreatif 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., I.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. Ibu Prof. Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing 1, atas kesediaan dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan dan arahan serta motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi. Terima kasih atas waktu, pemikiran, dan motivasi yang begitu berharga.

6. Bapak Dr. Fatkhur Rohman, M.Pd., selaku 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. Bapak Prof. Dr. Abdurrahman, 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 Apriana Wiguna, M.Pd., selaku Kepala SMA Negeri 1 Gadingrejo yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan penelitian.
10. Ibu Jumiran, S.Pd., selaku waka kurikulum serta guru mata pelajaran fisika SMA Negeri 1 Gadingrejo yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis selama penelitian berlangsung.
11. Peserta didik kelas X.10 dan X.11 SMA Negeri 1 Gadingrejo yang telah membantu dan bekerja sama selama penelitian berlangsung.
12. Sahabat seperjuangan selama perkuliahan, grup Kita Kuad, Indah Dwi Jayanti, Lintang Nimas K, Rana Zayyan, Firda Amaliya, dan Fadila Aulia Ibnu yang selalu membuat perjalanan perkuliahan saya lebih menyenangkan dan penuh kenangan.
13. Sahabat terbaik penulis selama SMP sampai saat ini, Syahda, Nisa dan Hafidhah yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
14. Teman-teman seperbimbingan akademik Ibu Kartini, yaitu Nadia, Dwi Pratiwi, Dwi Rahayu, Mila, dan Adinda yang telah menjadi teman *sharing group* skripsi dan selalu memberikan kekuatan, motivasi, dan dukungan satu sama lainnya.
15. Teman-teman seperjuangan Pendidikan Fisika angkatan 2022.
16. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan nikmat kepada kita semua dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Bandar Lampung, 06 Mei 2026

Kharinta Oxana Ferodova
NPM 221302205

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
I. PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang Masalah	16
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Tinjauan Teoritis.....	8
2.1.1. Teori Belajar Konstruktivisme Sosial	8
2.1.2. <i>Ill-Structured Problem</i>	11
2.1.3. LKPD	12
2.1.4. Model Pembelajaran <i>Project-based Learning</i> STEM (PjBL-STEM)	14
2.1.5. Keterampilan Berpikir Kreatif.....	17
2.1.6. <i>Sustainability Literacy</i>	20
2.1.7. Limbah Serbuk Kayu	22
2.1.8. Energi Alternatif	23
2.2 Penelitian yang Relevan	27
2.3 Kerangka Pemikiran	29
2.4 Hipotesis Penelitian.....	31
III. METODE PENELITIAN	32
3.1 Pelaksanaan Penelitian	32
3.2 Populasi dan Sampel Penelitian	32
3.3 Variabel Penelitian.....	33
3.4 Desain Penelitian.....	33
3.5 Prosedur Pelaksanaan	39
3.6 Instrumen Penelitian	40
3.7 Analisis Instrumen Penelitian	41
3.7.1. Uji Validitas.....	41
3.7.2. Uji Reliabilitas.....	43
3.8 Teknik Pengumpulan Data.....	45
3.8.1. Teknik Pengumpulan Data Hasil Belajar	45
3.8.2. Analisis Keterlaksanaan LKPD.....	46
3.9 Teknik Analisis Data.....	47

3.9.1. Hitung <i>N-Gain</i>	47
3.9.2. Uji Normalitas	48
3.9.3. Uji Homogenitas.....	48
3.9.4. Uji <i>Effect Size</i> dengan ANCOVA	49
3.9.5. Uji Hipotesis.....	50
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Hasil Penelitian	52
4.1.1 Data Nilai Keterampilan berpikir kreatif	52
4.1.2 Data Nilai <i>Sustainability Literacy</i>	61
4.1.3. Uji Hipotesis	70
4.1.3. Analisis Keterlaksanaan LKPD Kelompok Kecil.....	73
4.1.4. Analisis Keterlaksanaan LKPD	76
4.2. Pembahasan	78
4.2.1. Keterampilan Berpikir Kreatif.....	78
4.2.2. <i>Sustainability Literacy</i>	103
4.2.3. Analisis Keterlaksanaan LKPD	123
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	173
5.1. Kesimpulan.....	173
5.2. Saran.....	174
DAFTAR PUSTAKA	176
LAMPIRAN	182
1. Surat Izin Penelitian	183
2. Surat Balasan Penelitian.....	184
3. Hasil Uji Validitas Soal Keterampilan Berpikir Kreatif.....	185
4. Hasil Uji Validitas Soal <i>Sustainability Literacy</i>	186
5. Hasil Uji Reliabilitas Soal Keterampilan Berpikir Kreatif.....	187
6. Hasil Uji Reliabilitas Soal <i>Sustainability Literacy</i>	188
7. Rekapitulasi Hasil <i>Pretest</i> Keterampilan Berpikir Kreatif Kelas Eksperimen	189
8. Rekapitulasi Hasil <i>Posttest</i> Keterampilan Berpikir Kreatif Kelas Eksperimen	190
9. Rekapitulasi Hasil <i>Pretest</i> Keterampilan Berpikir Kreatif Kelas Kontrol	191
10. Rekapitulasi Hasil <i>Posttest</i> Keterampilan Berpikir Kreatif Kelas Kontrol	192
11. Hasil Uji Normalitas Data Keterampilan Berpikir Kreatif.....	193
12. Hasil Uji Homogenitas Data Keterampilan Berpikir Kreatif	193
13. Hasil Uji <i>Effect Size</i> Data Keterampilan Berpikir Kreatif.....	193
14. Hasil Uji <i>Independent Sample T-test</i> Data Keterampilan Berpikir Kreatif	194
15. Rekapitulasi Hasil <i>Pretest Sustainability Literacy</i> Kelas Eksperimen	197
16. Rekapitulasi Hasil <i>Posttest Sustaianability Literacy</i> Kelas Eksperimen.....	198

17. Rekapitulasi Hasil <i>Pretest Sustainability Literacy</i> Kelas Kontrol.....	199
18. Rekapitulasi Hasil <i>Posttest Sustainability Literacy</i> Kelas Kontrol	200
19. Hasil Uji Normalitas Data <i>Sustainability Literacy</i>	200
20. Hasil Uji Homogenitas Data <i>Sustainability Literacy</i>	201
21. Hasil Uji <i>Effect Size</i> Data <i>Sustainability Literacy</i>	201
22. Hasil Uji <i>Independent Sampel T-Test</i> Data <i>Sustainability Literacy</i>	202
23. Hasil Uji Manova.....	205
24. Modul Ajar.....	206
25. Instrumen <i>Pretest-Posttest</i> Keterampilan Berpikir Kreatif	213
26. Kunci Jawaban Instrumen Keterampilan Berpikir Kreatif.....	219
27. Rubrik Penilaian Instrumen Keterampilan Berpikir Kreatif	223
28. Instrumen <i>Pretest-Posttest Sustainability Literacy</i>	234
29. Kunci Jawaban Instrumen <i>Sustainability Literacy</i>	238
30. Rubrik Penilaian Instrumen <i>Sustainability Literacy</i>	240
31. Analisis Keteraksanaan LKPD Keterampilan Berpikir Kreatif Kelompok Kecil Berdasarkan Aspek yang Dinilai.....	242
32. Analisis Keteraksanaan LKPD <i>Sustainability Literacy</i> Kelompok Kecil Berdasarkan Aspek yang Dinilai.....	244
33. Analisis Keteraksanaan LKPD Keterampilan Berpikir Berdasarkan Aspek yang Dinilai.....	248
34. Analisis Keteraksanaan LKPD <i>Sustainability Literacy</i> Berdasarkan Aspek yang Dinilai.....	250

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Aspek dan Indikator Kemampuan Berpikir Kreatif.....	19
2. Aspek dan Aktivitas Kemampuan Berpikir Kreatif	19
3. Aspek dan Indikator <i>Sustainability Literacy</i>	21
4. Komponen Kimia Serbuk Kayu.....	23
5. Standar Kualitas Briket Arang Kayu.....	24
6. Uji Nilai Kalor	25
7. Uji Shatter Index	26
8. Uji Stabilitas	26
9. Penelitian Relevan	27
10. Desain Eksperimen <i>Non-Equivalent Control Group</i>	33
11. Desain Penelitian Kelas Eksperimen.....	34
12. Desain Penelitian Kelas Kontrol.....	37
13. Tahap Pelaksanaan pada Kelas Eksperimen dan Kontrol.....	40
14. Interpretasi Koefisien Validitas Instrumen	42
15. Hasil Uji Validitas Keterampilan Berpikir Kreatif.....	42
16. Hasil Uji Validitas <i>Sustainability Literacy</i>	43
17. Interpretasi Reliabilitas Instrumen	44
18. Hasil Uji Reliabilitas Keterampilan Berpikir Kreatif.....	44
19. Hasil Uji Reliabilitas <i>Sustainability Literacy</i>	45
20. Kriteria Keterlaksanaan LKPD	46
21. Klasifikasi Rata-Rata <i>N-Gain</i>	47
22. Penentuan Keputusan Homogenitas.....	48
23. Interpretasi <i>Effect Size</i> dengan ANCOVA	50

24. Rata-Rata Nilai <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Keterampilan Berpikir Kreatif.....	53
25. Hasil <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Kelas Eksperimen dan Kontrol.....	54
26. Hasil Uji Normalitas	58
27. Hasil Uji Homogenitas	58
28. Hasil Perhitung <i>N-Gain</i> Tiap Kelas	60
29. Hasil Uji <i>Effect Size</i> dengan ANCOVA.....	61
30. Rata-Rata Nilai <i>Pretest</i> dan <i>Posttest Sustainability Literacy</i>	62
31. Hasil <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Kelas Eksperimen dan Kontrol.....	63
32. Hasil Uji Normalitas	66
33. Hasil Uji Homogenitas	66
34. Hasil Perhitungan <i>N-Gain</i> Tiap Kelas.....	67
35. Hasil Perhitungan <i>N-Gain</i> Tiap Aspek.....	68
36. Hasil Uji <i>Effect Size</i> dengan ANCOVA.....	69
37. Hasil Uji <i>Independent Sample T-Test</i> Keterampilan berpikir kreatif.....	70
38. Hasil Uji <i>Independent Sample T-Test Sustainability Literacy</i>	71
39. Hasil Uji Manova	72
40. Hasil Analisis Keterlaksanaan LKPD Berdasarkan Indikator Keterampilan Berpikir Kreatif Kelompok Kecil	73
41. Hasil Analisis Keterlaksanaan LKPD Berdasarkan Aspek Sustainability Literacy Kelompok Kecil	74
42. Hasil Analisis Keterlaksanaan LKPD Berdasarkan Indikator Keterampilan Berpikir Kreatif.....	76
43. Hasil Analisis Keterlaksanaan LKPD Berdasarkan Aspek <i>Sustainability Literacy</i>	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran.....	30
2. Perbandingan Hasil Rata-Rata Kelas Eksperimen Dan Kontrol.....	55
3. Hasil Perbandingan Kelas Eksperimen dan Kontrol Tiap Indikator	57
4. Hasil Rata-Rata <i>N-Gain</i> Keterampilan Berpikir Kreatif.....	59
5. Perbandingan hasil rata-rata kelas eksperimen dan kontrol	63
6. Perbandingan Hasil Rata-Rata Kelas Eksperimen dan Kontrol Tiap Aspek	65
7. Hasil Rata-Rata <i>N-Gain Sustainability Literacy</i>	67
8. Grafik Hasil Rata-Rata <i>N-Gain</i> Keterampilan Berpikir Kreatif.....	79
9. Grafik Rata-Rata <i>N-Gain</i> Tiap Indikator Keterampilan Berpikir Kreatif	80
10. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 1a	82
11. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 1a	83
12. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 2a	84
13. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 2a	84
14. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 3a	85
15. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 3a	85
16. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 1b.....	87

17. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 1b.....	87
18. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 2b.....	88
19. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 2b.....	88
20. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 3b.....	89
21. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 3b.....	90
22. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 4b.....	91
23. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 4b.....	91
24. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 1c.....	93
25. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 1c.....	93
26. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 2c.....	94
27. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 2c.....	95
28. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 3c.....	96
29. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 3c.....	96
30. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 1d.....	98
31. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir	
Kreatif Nomor 1d.....	98

32. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 2d.....	99
33. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 2d.....	99
34. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 3d.....	100
35. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 3d.....	101
36. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 4d.....	102
37. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal Keterampilan Berpikir Kreatif Nomor 4d.....	102
38. Grafik Hasil Rata-Rata <i>N-Gain Sustainability Literacy</i>	104
39. Grafik Ketercapaian Aspek Sustainability Literacy	105
40. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 1a.....	107
41. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 1a.....	108
42. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2a.....	109
43. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2a.....	110
44. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2b.....	111
45. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2b.....	111
46. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 3a.....	112
47. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 3a.....	113

48. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 1b.....	114
49. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 1b.....	115
50. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2c.....	116
51. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2c.....	116
52. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 3b.....	117
53. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 3b.....	118
54. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 1c.....	119
55. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 1c.....	120
56. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2d.....	121
57. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 2d.....	121
58. Contoh Jawaban <i>Pretest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 3c.....	122
59. Contoh Jawaban <i>Posttest</i> Peserta Didik pada Soal <i>Sustainability Literacy</i> Nomor 3c.....	123
60. Grafik Hasil Analisis Keterlaksanaan LKPD Indikator Keterampilan Berpikir Kreatif	124
61. Grafik Hasil Analisis Keterlaksanaan LKPD Aspek <i>Sustainability Literacy</i>	124
62. Kegiatan Mengidentifikasi dan Menentukan <i>Project</i> Kegiatan Peserta Didik Mengamati Video.....	126
63. Contoh Jawaban Peserta Didik Mengidentifikasi Masalah untuk Melatihkan Indikator <i>Fluency</i>	127

64. Kegiatan Peserta Didik Mencari informasi dan Mengerjakan LKPD.....	128
65. Contoh Jawaban Peserta Didik Mengidentifikasi Masalah untuk Melatihkan Aspek Pengetahuan, Keterampilan, dan Sikap <i>Sustainability Literacy</i>	129
66. Jawaban Peserta Didik Mengidentifikasi Masalah untuk Melatihkan Aspek Pengetahuan, Keterampilan, dan Sikap <i>Sustainability Literacy</i>	131
67. Kegiatan Peserta Didik untuk Mengamati Permasalahan dan Menjawab Pertanyaan untuk Melatihkan Aspek <i>Sustainability Literacy</i>	132
68. Contoh Jawaban Peserta Didik Mengidentifikasi Masalah untuk Melatihkan Aspek Pengetahuan, Keterampilan, dan Sikap <i>Sustainability Literacy</i>	133
69. Contoh Jawaban Peserta Didik Menentukan <i>Project</i> untuk Melatihkan Indikator <i>Fluency</i>	135
70. Jawaban Peserta Didik Rumusan Masalah dan Tujuan <i>Project</i> untuk Melatihkan Indikator <i>Flexibility</i>	139
71. Jawaban Peserta Didik Merencanakan <i>Project</i> untuk Melatihkan Indikator <i>Originality</i>	142
72. Jawaban Peserta Didik Menggagas Rincian Alat dan Bahan untuk Melatihkan Indikator <i>Flexibility</i>	144
73. Jawaban Peserta Didik Menguraikan Prosedur Pembuatan <i>Project</i> untuk Melatihkan Indikator <i>Flexibility</i>	145
74. Jawaban Peserta Didik Merencanakan Poster Kepedulian Kepedulian untuk Melatihkan Aspek Keterampilan <i>Sustainability Literacy</i>	147
75. Jawaban Peserta Didik Menggagas Alat dan Bahan untuk Melatihkan Aspek Keterampilan <i>Sustainability Literacy</i>	149
76. Jawaban Peserta Didik Merencanakan Prosedur untuk Melatihkan Aspek Keterampilan <i>Sustainability Literacy</i>	150
77. Jawaban Peserta Didik Merancang <i>Timeline Project</i>	151
78. Kegiatan Diskusi Merencanakan Proyek dan Menyusun Jadwal Proyek	152
79. Jawaban Peserta Didik Menguraikan Kemajuan <i>Project</i> untuk Melatihkan Indikator <i>Originality</i>	155
80. Jawaban Mengenai Pembuatan Produk untuk Melatihkan Indikator <i>Originality</i>	156

81. Jawaban Mengenai Gambar Data Pembuatan Produk untuk Melatihkan Indikator <i>Originality</i>	157
82. Jawaban Mengenai Prosedur Pengujian Produk untuk Melatihkan Indikator <i>Originality</i>	158
83. Aktivitas Peserta Didik Praktikum Pembuatan Briket	159
84. Jawaban Mengenai Hasil Pengukuran Karakteristik Produk untuk Melatihkan Indikator <i>Originality</i>	160
85. Hasil Poster Kepedulian untuk Melatihkan Aspek Keterampilan pada <i>Sustainability Literacy</i>	163
86. Hasil Laporan <i>Project</i> dalam Bentuk Poster Ilmiah untuk Melatihkan Indikator <i>Elaboration</i>	165
87. Kegiatan Presentasi poster kepedulian untuk Melatihkan Aspek Keterampilan pada <i>Sustainability Literacy</i>	166
88. Jawaban Menguraikan Kendala dan Tindak Lanjut	167
89. Jawaban Respon Lingkungan Terhadap Poster kepedulian untuk Melatihkan Aspek Sikap pada <i>Sustainability Literacy</i>	169
90. Jawaban Tindak Lanjut jika Melihat Warga Sekolah untuk Melatihkan Aspek Sikap pada <i>Sustainability Literacy</i>	170

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi diikuti oleh munculnya berbagai permasalahan baru. Salah satu isu penting yang dihadapi masyarakat saat ini adalah meningkatnya jumlah limbah, termasuk limbah serbuk kayu yang banyak dihasilkan dari kegiatan industri mebel maupun pertukangan. Menurut data dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Lampung, beberapa kabupaten di Lampung, seperti Bandar Lampung, tercatat memproduksi sekitar 24,09 ton limbah kayu per hari pada tahun 2022. Sekitar 30% dari total tersebut digunakan sebagai bahan bakar biomassa, sementara sisanya tidak dikelola dengan baik sehingga berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. (Malik, 2020). Kondisi ini mendorong perlunya inovasi dalam pemanfaatan limbah serbuk kayu untuk mengurangi limbah dan mendukung keberlanjutan lingkungan, terutama sebagai bahan bakar alternatif (Masyruroh & Rahmawati, 2022).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi, pemanfaatan limbah serbuk kayu sebagai bahan bakar alternatif menjadi semakin penting untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Sebagian besar kebutuhan energi saat ini masih ditopang oleh sumber fosil, meliputi minyak, gas, dan batu bara (Ulina *et al.*, 2022). Apabila tidak dilakukan upaya pemanfaatan sumber energi alternatif, maka cadangan bahan bakar fosil diperkirakan akan menipis bahkan habis dalam

beberapa dekade mendatang (Aravindan & Praveen Kumar, 2023). Peningkatan penggunaan energi berbasis fosil telah menyebabkan terjadinya krisis energi, sehingga keterbatasan tersebut mendorong manusia untuk melakukan penghematan serta mencari sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan (Logayah *et al.*, 2023).

Energi alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan dapat diperbarui dapat diperoleh melalui pemanfaatan limbah industri, misalnya limbah serbuk kayu. (Ali *et al.*, 2024). Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah industri berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Sebaliknya, limbah tersebut dapat memberikan nilai tambah secara ekonomi karena memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Pemanfaatan energi alternatif saat ini menjadi perhatian utama dalam pendidikan abad 21, yang menekankan pentingnya keterampilan 6C yaitu keterampilan berpikir kreatif (*creative thinking skills*), keterampilan berpikir kritis (*critical thinking skills*), budaya (*culture*), berkolaborasi (*collaboration*), komunikasi (*communication*), and konektivitas (*connectivity*) (Montessori *et al.*, 2023).

Kemampuan berpikir kreatif menjadi salah satu keterampilan yang sangat diperlukan yang harus dimiliki oleh peserta didik ('Adiilah & Haryanti, 2023). Keterampilan berpikir kreatif merupakan kemampuan individu dalam menghasilkan solusi inovatif untuk memecahkan permasalahan, sehingga memungkinkan terciptanya ide-ide baru atau gagasan yang berbeda dari yang sudah ada. Faktanya, keterampilan berpikir kreatif saja tidak cukup bagi seseorang untuk memecahkan masalah apabila individu tersebut kurang memiliki kesadaran terhadap kondisi di sekelilingnya. Agar individu juga mampu menyadari kondisi kehidupan sekitar, seseorang juga perlu memiliki kompetensi pada literasi berkelanjutan (*Sustainability Literacy*). Literasi keberlanjutan adalah kemampuan untuk memahami hal-hal penting tentang keberlanjutan, seperti hubungan antara lingkungan, ekonomi, dan masyarakat.

Kemampuan ini juga mencakup kesadaran tentang bagaimana tindakan manusia bisa berdampak pada alam, penggunaan sumber daya, dan kehidupan manusia di masa depan (Mahesa *et al.*, 2025).

Peningkatan literasi keberlanjutan tidak hanya bergantung pada aspek pengetahuan, melainkan juga memerlukan penanaman nilai serta keterampilan yang mendukung terjadinya perubahan menuju masa depan berkelanjutan. Peserta didik perlu bisa menggabungkan pengetahuan dari aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial, lalu menerapkannya dalam kehidupan nyata. Tingkat literasi keberlanjutan sangat bergantung pada bagaimana peserta didik dilatih di dalam kelas (Riyadi *et al.*, 2025). Literasi ini bisa ditingkatkan melalui metode pembelajaran seperti penyuluhan, pelatihan, dan simulasi. Peserta didik dikatakan memiliki literasi keberlanjutan jika mampu memahami pentingnya perubahan, memiliki pengetahuan dan keterampilan yang sesuai, serta bisa mengenali dan menghargai tindakan berkelanjutan pada orang lain (Labobar & Kapojos, 2023). Uraian tersebut menegaskan bahwa pembelajaran melalui praktik langsung di lapangan yang dilaksanakan secara berkelanjutan terbukti efektif dalam membangun literasi keberlanjutan peserta didik sejak usia dini.

Salah satu model pembelajaran yang bisa digunakan untuk melatih keterampilan berpikir kreatif dan literasi keberlanjutan peserta didik adalah dengan menerapkan pembelajaran berbasis *project*. Penelitian yang telah diteliti oleh Ayu *et al.* (2023) menjelaskan dengan menerapkan pembelajaran berbasis proyek terdapat perubahan pada peserta didik mengenai pengetahuan dan keterampilan dalam menerapkan pengelolaan sampah sehingga terjadi peningkatan *sustainability literacy* pada peserta didik. Penelitian Hera Erisa *et al.* (2021) menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik. Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan kemampuan berpikir kreatif peserta didik terdapat peningkatan yang mulanya rata-rata kemampuan berpikir kreatif peserta didik

yaitu 26% menjadi 78%. Model pembelajaran berbasis proyek ini menekankan pada kegiatan proyek yang sesuai dengan kehidupan nyata dan mendorong peserta didik untuk aktif terlibat dalam proses belajar melalui pengalaman langsung (Syafila *et al.*, 2024).

Efektivitas penerapan *project based learning* sangat bergantung pada pemilihan dan penggunaan bahan ajar yang tepat. LKPD menjadi salah satu pilihan yang efektif bagi guru karena LKPD berisi rangkaian kegiatan yang dirancang untuk membantu peserta didik memahami materi pembelajaran serta melatih keterampilan yang diperlukan dalam proses belajar (Annisa Wudda *et al.*, 2024). Menurut Oktaviani *et al.* (2022) LKPD memiliki berbagai keunggulan, seperti penyajian materi yang lebih terfokus, memuat peta konsep, hingga langkah-langkah eksperimen yang dapat mendukung proses pembelajaran. Penyajian LKPD tersebut memberi peluang bagi guru untuk mengintegrasikan berbagai komponen pembelajaran sehingga dapat meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik. Selain itu, LKPD juga fleksibel untuk dikembangkan sesuai dengan model pembelajaran tertentu, seperti *Project Based Learning*.

Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa LKPD berbasis *Project* memiliki potensi untuk meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, termasuk berpikir kreatif. Kajian yang secara khusus memanfaatkan limbah serbuk kayu sebagai objek proyek dalam pembelajaran fisika, terutama pada materi energi alternatif masih terbatas. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada hasil kognitif atau produk *Project*, sedangkan penelitian yang mengukur secara simultan kemampuan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* masih jarang dilakukan. Selain itu, sebagian instrumen yang digunakan dalam penelitian sebelumnya belum sepenuhnya disesuaikan dengan konteks lokal dan karakteristik *Project* berbasis pemanfaatan limbah serbuk kayu. Berdasarkan penelitian sebelumnya maka dilakukan penelitian yang berjudul “Efektivitas

LKPD Berbasis *Project* Pengolahan Limbah Serbuk Kayu untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kreatif 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 pengaruh LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu untuk melatih keterampilan berpikir kreatif peserta didik SMA pada materi energi alternatif?
2. Bagaimana pengaruh LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu terhadap *sustainability literacy* peserta didik SMA dalam mempelajari materi energi alternatif?
3. Bagaimana pengaruh LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu terhadap keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik SMA dalam mempelajari materi energi alternatif?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu untuk melatih keterampilan berpikir kreatif peserta didik SMA pada materi energi alternatif.
2. Mengetahui pengaruh LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu terhadap *sustainability literacy* peserta didik SMA dalam mempelajari materi energi alternatif.

3. Mengetahui pengaruh LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu terhadap keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik SMA dalam mempelajari materi energi alternatif.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan oleh peneliti dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagi Peserta Didik

LKPD berbasis proyek pengolahan limbah serbuk kayu pada materi energi alternatif dapat melatih keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy*.

2. Bagi Pendidik

LKPD berbasis proyek pengolahan limbah serbuk kayu pada materi energi alternatif dapat memberikan solusi sebagai bahan ajar yang dapat melatih keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy*.

3. Bagi Sekolah

LKPD berbasis proyek pengolahan limbah serbuk kayu pada materi energi alternatif dapat menjadi pengarah dalam proses belajar yang dapat meningkatkan hasil belajar peserta didik.

4. Bagi Dunia Pendidikan

Penelitian ini bisa memberikan masukan dan pandangan yang bermanfaat untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika bagi peserta didik.

5. Bagi Peneliti Lain

Penelitian ini dapat menjadi referensi LKPD berbasis *project* pengolahan serbuk limbah kayu yang bisa dijadikan acuan untuk penelitian berikutnya dengan variabel bebas yang berbeda, sehingga pembahasannya bisa lebih luas.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan penelitian atau ruang lingkup penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. LKPD yang digunakan yaitu LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu untuk melatih keterampilan berpikir kreatif peserta didik SMA oleh Melisa (2025).
2. Materi pokok yang digunakan pada proses pembelajaran penelitian ini adalah materi energi alternatif khususnya *alternative fuel* kelas X semester ganjil Kurikulum Merdeka.
3. Subjek penelitian ini adalah peserta didik SMA.
4. Model pembelajaran yang digunakan adalah model pembelajaran berbasis *project* (STEM-PjBL) yang terdiri dari 5 tahap pembelajaran menurut Laboy Rush (2010), yaitu tahap *reflection* (refleksi awal untuk memahami masalah), *research* (penelitian untuk mengumpulkan informasi), *discovery* (menemukan solusi dan langkah proyek), *application* (menerapkan solusi dan memodelkannya), dan *communication* (mempresentasikan hasil dan menerima umpan balik).
5. Indikator keterampilan berpikir kreatif menggunakan *Fluency* (kefasihan), *Flexibility* (keluwesan), *Originality* (keaslian), dan *Elaboration* (elaborasi) menurut (Wallach & Torrance, 1968)
6. Aspek indikator *sustainability literacy* menurut Anggraini *et al.* (2023) yaitu pengetahuan, keterampilan, dan sikap.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Teoritis

2.1.1. Teori Belajar Konstruktivisme Sosial

Pendekatan konstruktivis yang berlandaskan pemikiran Jean Piaget dan Lev Vygotsky menekankan pentingnya pembelajaran berbasis pengalaman. Piaget menjelaskan bahwa pemahaman terbentuk melalui pengalaman dan interaksi, sedangkan Vygotsky menekankan peran interaksi sosial serta *scaffolding* dalam menunjang perkembangan kognitif dan penguasaan keterampilan baru (Sharma & Shukla, 2023). Kedua teori ini menjadi landasan kuat bagi pembelajaran berpusat pada peserta didik, di mana peserta didik tidak sekedar menerima informasi, tetapi juga aktif membangun pengetahuan sendiri. Dalam hal ini, guru berperan bukan hanya sebagai pengajar, melainkan juga fasilitator yang mendukung peserta didik menghadapi tantangan belajar sesuai dengan tingkat kemampuannya.

Teori konstruktivisme sosial menurut Piaget (1971) menyatakan bahwa peserta didik secara aktif membangun pengetahuannya melalui interaksi dengan pengalaman dan objek yang peserta didik temui, serta mampu merevisi dan mengembangkan pemahaman tersebut. Pendekatan pembelajaran konstruktivisme sosial menekankan pentingnya proses pembentukan pemahaman peserta didik melalui interaksi dengan lingkungan sosial maupun fisik. Dalam pendekatan ini, proses belajar

sangat bergantung pada konteks sosial, di mana pengetahuan dikonstruksi melalui kerja sama dan kegiatan dalam kelompok (Saraswati & Agustika, 2020).

Teori konstruktivisme Vygotsky menekankan pentingnya interaksi sosial dalam membentuk perkembangan kognitif anak. Menurut Vygotsky, pembelajaran tidak sekadar mengajarkan pengetahuan atau keterampilan baru, melainkan juga merangsang proses perkembangan internal. Proses tersebut tumbuh melalui interaksi anak dengan orang lain serta kerja sama dengan teman sebaya, dan setelah dipahami serta diinternalisasi, akan menjadi bagian dari kemampuan anak untuk berkembang secara mandiri (Vygotsky, 1978: 90).

Menurut Vygotsky (1978: 86), perkembangan kemampuan individu dibagi menjadi dua tingkatan, yaitu tingkat perkembangan aktual dan tingkat perkembangan potensial. Tingkat perkembangan aktual ditunjukkan melalui kemampuan memecahkan masalah secara mandiri, sedangkan tingkat perkembangan potensial terlihat ketika pemecahan masalah dilakukan dengan bantuan orang dewasa atau melalui kerja sama dengan teman sebaya yang lebih kompeten. Perbedaan antara kedua tingkatan ini dikenal sebagai *Zone of Proximal Development (ZPD)*.

Peserta didik berada dalam ZPD ketika mereka belum mampu memecahkan masalah secara mandiri, namun dapat melakukannya dengan bantuan orang dewasa atau teman sebaya. Bantuan ini diberikan agar peserta didik mampu menyelesaikan tugas atau soal yang lebih kompleks dibandingkan dengan tingkat perkembangan kognitifnya saat itu (Irshad *et al.*, 2021). Konsep ZPD menegaskan pentingnya pendampingan dalam proses pembelajaran, karena melalui pendampingan tersebut peserta didik dapat mencapai tingkat kemandirian dan pencapaian yang lebih tinggi. Perkembangan kognitif terbentuk melalui interaksi sosial, di mana proses belajar anak melibatkan penggabungan keterampilan yang sudah dimiliki untuk menyelesaikan tugas yang lebih

menantang. Keberhasilan proses ini didukung oleh peran orang dewasa atau teman yang lebih berpengalaman melalui *scaffolding* (Dianna *et al.*, 2021). Peran orang dewasa tersebut dalam konteks pendidikan adalah guru.

Scaffolding adalah pemberian bantuan intensif kepada individu pada tahap awal pembelajaran, kemudian secara bertahap dikurangi agar peserta didik memiliki kesempatan untuk mengambil tanggung jawab yang lebih besar ketika mulai mampu menyelesaikan tugas secara mandiri (Irshad *et al.*, 2021). Bentuk bantuan ini dapat berupa petunjuk, contoh, arahan, peringatan, dorongan, maupun upaya menyederhanakan masalah menjadi lebih mudah dipahami, sehingga peserta didik dapat menyelesaikan secara mandiri (Muhibbin & Hidayatullah, 2020).

Secara umum, *scaffolding* bertujuan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran melalui interaksi sosial yang mempertimbangkan pemahaman serta kebutuhan belajar peserta didik, sedangkan secara teoretis, *scaffolding* mampu meningkatkan hasil belajar dalam proses pembelajaran (Adinda *et al.*, 2024). Menurut Vygotsky, pembelajaran akan lebih efektif dan efisien apabila anak belajar secara kooperatif dengan teman sebaya dalam lingkungan yang mendukung, dengan bimbingan dari individu yang lebih berkompeten seperti guru atau orang dewasa (Wardani *et al.*, 2023). *Scaffolding* dapat dikembangkan dalam bentuk proses, strategi, maupun metode pembelajaran yang diterapkan oleh pendidik, baik secara langsung maupun dengan memanfaatkan alat bantu untuk memudahkan peserta didik memahami materi, termasuk fisika (Azzaroiha *et al.*, 2025).

Pembelajaran melalui kegiatan kerja kelompok memungkinkan peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang menekankan pentingnya kolaborasi serta bimbingan dari pendidik. Pendekatan ini bertujuan menciptakan proses pembelajaran yang bermakna bagi peserta didik. Pendidik memegang peran

sentral sebagai pembimbing dalam pelaksanaan pendekatan ini. Hal ini sejalan dengan pendapat Alberida *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa pendidik perlu menerapkan metode pembelajaran yang:

1. Pembelajaran yang memiliki fokus berpusat pada peserta didik;
2. Pembelajaran yang bersifat kolaboratif untuk meningkatkan interaksi sosial dan kerja sama dalam merumuskan solusi dari permasalahan; serta
3. Melibatkan pendidik dalam mendampingi setiap aktivitas peserta didik guna membangun konstruktivisme sosial.

Berdasarkan penjelasan tersebut, konstruktivisme sosial dapat dipahami sebagai teori belajar yang menekankan pembentukan pemahaman peserta didik melalui interaksi dan kerja sama. Dalam penelitian ini, teori konstruktivisme sosial diterapkan melalui model pembelajaran berbasis *project* dengan tahap *application* dan *communication*.

2.1.2. *Ill-Structured Problem*

Ill-structured problem biasanya berada dalam konteks tertentu. *Ill-structured problem* mendeskripsikan masalah yang tidak jelas atau tidak didefinisikan dengan baik, dan informasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah tidak terdapat dalam pernyataan masalah (Chi, Feltovich, & Glaser, 1981 dalam (Jonassen, 1997)). *Ill-structured problem* merupakan bentuk masalah yang ditemui dalam konteks sehari-hari, sehingga biasanya terdapat kesenjangan yang disebut masalah. Karena masalah yang diangkat adalah masalah sehari-hari, maka solusi dari masalah tersebut tidak dapat diprediksi secara langsung dan solusi umumnya tidak konvergen. Solusi masalah terkadang membutuhkan integrasi berbagai konsep. *Ill-structured problem* juga mengharuskan peserta didik untuk mengekspresikan pendapat atau keyakinan mereka sendiri tentang masalah yang

diungkapkan, sehingga pemecahan masalah merupakan suatu kegiatan yang menghargai keunikan dari setiap individu Meacham & Emont (1989), sehingga penyelesaian *ill-structured problem* meminta peserta didik untuk menjustifikasi dan memberikan alasan yang logis untuk mendukung pembenaran mereka.

Berdasarkan penjelasan bahwa *ill-structured problem* merupakan bentuk masalah yang sering dihadapi dalam nyata dan sehari-hari manusia, sehingga mengharuskan peserta didik untuk merekonstruksi pengetahuan mereka sendiri. Peneliti mengintegrasikan *ill-structured problem* dalam penelitian ini, khususnya pada tahap *reflection* dan *research*, dimana peserta didik dituntut untuk menyajikan prediksi serta penalaran secara tertulis atas fenomena yang ditampilkan dan menemukan masalah sesuai dengan prediksi mereka pada langkah orientasi. Hal ini bertujuan untuk melatih keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik, membantu mereka dalam memahami setiap konsep yang akan dipelajari. Dengan demikian, materi atau teori yang diterima oleh peserta didik tidak hanya menjadi hapalan, melainkan juga menjadi pemahaman yang lebih mendalam.

2.1.3. LKPD

Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) merupakan salah satu bentuk bahan ajar cetak yang disusun dalam bentuk lembaran berisi materi, ringkasan, serta petunjuk pelaksanaan tugas yang disesuaikan dengan kompetensi dasar dan indikator pembelajaran (Wulandari, 2021). Menurut Lee (2014) LKPD adalah bahan ajar yang memuat media pembelajaran agar mempermudah kegiatan belajar mengajar. Fungsi utamanya adalah sebagai panduan belajar yang dapat digunakan secara mandiri maupun dalam kelompok, sehingga mendukung keterlibatan aktif peserta didik.

Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) merupakan salah satu bentuk sumber atau bahan ajar yang dapat memfasilitasi guru dan peserta didik dalam pelaksanaan pembelajaran. Menurut (Gusti & Ratnawulan (2021) penggunaan LKPD membantu guru dalam mengelola pembelajaran secara lebih terarah, serta mendorong peserta didik untuk menemukan konsep melalui aktivitas mandiri maupun kerja kelompok. Selain itu, LKPD juga berperan dalam pengembangan keterampilan proses, pembentukan sikap ilmiah, dan mempermudah guru dalam memantau pencapaian hasil belajar peserta didik. Dengan demikian, pembelajaran berbasis LKPD diharapkan mampu menciptakan interaksi dua arah yang efektif antara guru dan peserta didik sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai secara optimal.

LKPD yang dimanfaatkan perlu dirancang dengan baik agar dapat memudahkan pemahaman peserta didik serta menumbuhkan minat dalam proses pembelajaran, sehingga mampu memberikan dampak terhadap prestasi akademik. Adapun fungsi LKPD menurut Prastowo (2011: 205) adalah sebagai berikut.

- a. Menjadi sumber belajar yang membantu mengurangi ketergantungan pada guru sekaligus meningkatkan partisipasi peserta didik.
- b. Berfungsi sebagai bahan ajar yang mempermudah pemahaman terhadap materi yang disampaikan.
- c. Menyajikan isi pembelajaran secara ringkas namun dilengkapi dengan berbagai latihan praktik.
- d. Memungkinkan peserta didik untuk lebih efektif dalam menerapkan pengetahuan yang telah diperoleh.

Menurut Prastowo (2013: 205), tujuan penggunaan LKPD mencakup:

- a. Menyediakan bahan ajar yang memfasilitasi interaksi peserta didik dengan materi serta memiliki fungsi penting.
- b. Menjelaskan tugas serta langkah-langkah yang dirancang untuk meningkatkan penguasaan peserta didik terhadap materi.

- c. Mendorong peserta didik agar lebih mandiri dalam proses belajar.
- d. Mempermudah peran guru dalam mendukung pencapaian prestasi peserta didik.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa LKPD merupakan bahan ajar yang berisi materi, ringkasan, panduan pelaksanaan pembelajaran, serta latihan soal yang mampu mendorong keterlibatan aktif peserta didik sehingga proses pembelajaran lebih efektif serta dapat mengoptimalkan pengetahuan dan keterampilan peserta didik.

2.1.4. Model Pembelajaran *Project-based Learning* STEM (PjBL-STEM)

Project Based Learning (PjBL) merupakan model pembelajaran yang berorientasi pada proyek, di mana peserta didik dilibatkan dalam kegiatan yang menghasilkan suatu produk. Model ini menuntut pemahaman yang mendalam dari pendidik dalam merancang ekosistem pembelajaran yang memungkinkan peserta didik untuk melakukan investigasi secara langsung terhadap berbagai permasalahan, termasuk dalam hal pemecahan masalah dan pencarian solusi dalam konteks kajian ilmu sains (Wena, 2009).

Project Based Learning (PjBL) merupakan model pembelajaran inovatif yang berpusat pada peserta didik, dengan guru berperan sebagai motivator dan fasilitator. Dalam pembelajaran ini, peserta didik diberi kesempatan untuk belajar secara mandiri dan membangun pemahamannya sendiri. Peserta didik juga diberi kebebasan untuk mengeksplorasi, merancang, serta melaksanakan pembelajaran, termasuk melakukan eksperimen secara kolaboratif untuk menghasilkan suatu produk (Rais, 2010).

Pengembangan terus terjadi pada model PjBL, salah satunya adalah penggabungan PjBL dengan pendekatan. Pendekatan STEM dapat diterapkan untuk mengintegrasikan keterampilan dan konten di abad ke-21 (Abdurrahman *et al.*, 2019). PjBL-STEM menjadikan peserta didik terlibat aktif dan berpartisipasi dalam proses pembelajaran (Purnawingsih *et al.*, 2020).

STEM adalah pendekatan yang melibatkan sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam memahami suatu topik (Hafni *et al.*, 2020). Pendekatan STEM menggabungkan keempat bidang ilmu yaitu sains, teknologi, teknik, dan matematika. Dengan menggabungkan keempat bidang ini dalam proses pembelajaran, peserta didik tidak hanya memahami konsep dan matematis tetapi juga memahami prinsip dan proses teknologi dan mampu berinovasi. Dengan menggunakan pemanfaatan bahan ajar, pendekatan STEM dapat diterapkan dalam proses pembelajaran (Puspitasari *et al.*, 2021). Sangat mungkin untuk memasukkan bidang *science, technology, engineering, and math* (STEM) ke dalam pembelajaran fisika. Penggunaan ilmu fisika memungkinkan peserta didik untuk menjadi sadar dan melek teknologi serta meningkatkan partisipasi dan daya saing dalam STEM (Nugroho *et al.*, 2019).

Penggabungan PjBL dan STEM saling melengkapi karena masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan (Purnawingsih *et al.*, 2020). Penggabungan PjBL dengan STEM mencakup konten dan konteks, sehingga peserta didik memahami STEM secara keseluruhan. Selain itu, kerangka PjBL membantu mengevaluasi berbagai aplikasi pembelajaran STEM, seperti penilaian mandiri peserta didik, integrasi bidang studi, diskusi peserta didik, dan umpan balik pembelajaran berkualitas tinggi (Ridha *et al.*, 2022). Dengan demikian, PjBL-STEM dapat memotivasi dan mendorong peserta didik untuk berpikir analitis, meningkatkan komunikasi antarteman, dan meningkatkan keterampilan berpikir kreatif (Purnawingsih *et al.*, 2020). Model PjBL-STEM bertujuan untuk meningkatkan kreativitas, keterampilan pemecahan masalah, keterampilan

komunikasi, dan pemahaman mendalam tentang materi pembelajaran (Ridha *et al.*, 2022)

Adapun langkah-langkah dalam pembelajaran *Project Based Learning-STEM* (PjBL-STEM) yang dikembangkan oleh Laboy Rush (2010) terdiri dari :

1. *Reflection*

Tahap membawa peserta didik ke dalam konteks masalah dan memberikan inspirasi kepada peserta didik untuk mulai menyelidiki/investigasi.

2. *Research*

Tahap memfasilitasi peserta didik mengambil bentuk penelitian, meneliti konsep sains, memilih bacaan atau mengumpulkan informasi dari sumber yang relevan.

3. *Discovery*

Peserta didik mulai menemukan proses-proses pembelajaran, menentukan apa yang masih belum diketahui serta menemukan langkah langkah proyek sebagai pemecahan masalah

4. *Application*

Peserta didik memodelkan suatu pemecahan masalah, menguji model yang dirancang, berdasarkan hasil pengujian peserta didik dapat mengulang ke langkah sebelumnya

5. *Communication*

Peserta didik mempresentasikan model dan solusi langkah ini untuk mengembangkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi serta kemampuan untuk menerima dan menerapkan umpan balik yang membangun.

Berdasarkan beberapa pendapat di atas, diperoleh definisi bahwa PjBL-STEM adalah model pembelajaran berbasis proyek berdasarkan masalah nyata yang menuntut peserta didik untuk dapat bereksplorasi dalam merencanakan dan melaksanakan pembelajaran secara kolaboratif sengan menghasilkan suatu produk akhir sebagai solusi yang diberikan. Berdasarkan dari langkah-langkah PjBL-

STEM tersebut dapat diketahui bahwa peserta didik memiliki peran yang sangat besar dalam pembelajaran, sehingga peserta didik dapat berorientasi pada proses pembelajaran yang mengembangkan berbagai keterampilan yang dimiliki.

2.1.5. Keterampilan Berpikir Kreatif

Pendidikan di Indonesia perlu membekali peserta didik dengan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, berpikir kreatif, komunikasi, dan kolaborasi.

Berbagai keterampilan tersebut menempatkan berpikir kreatif sebagai aspek yang sangat penting karena melibatkan imajinasi dalam penyelesaian masalah serta mencakup proses kognitif yang disesuaikan dengan objek, permasalahan, dan situasi tertentu (Muslihasari *et al.*, 2024). Menurut Kampilis & Berki (2014) berpikir kreatif memungkinkan peserta didik untuk menghasilkan ide, merumuskan pertanyaan, bereksperimen dengan berbagai alternatif, dan mengevaluasi hasil.

Keterampilan berpikir kreatif peserta didik dapat terlihat melalui pendekatan atau strategi yang digunakan dalam menyelesaikan suatu permasalahan. Adapun indikator keterampilan berpikir kreatif menurut Wallach & Torrance (1968) yaitu kelancaran (*Fluency*), keluwesan (*Flexibility*), keaslian (*Originality*), dan penguraian (*Elaboration*).

1. *Fluency* (kelancaran) adalah kemampuan untuk menghasilkan suatu ide serta kemampuan untuk memproduksi sejumlah ide. Keterampilan berpikir *Fluency* terdiri dari dua faktor utama, yaitu kefasihan verbal yang tercermin dari banyaknya ujaran yang disampaikan, serta kefasihan ideasional yang ditandai dengan kemampuan menghasilkan sejumlah besar ide secara cepat, terlepas dari kualitas ide tersebut.
2. *Flexibility* (keluwesan) adalah kemampuan individu dalam mentransfer ide atau gagasan kepada orang lain berkaitan erat dengan keterampilan berpikir

fleksibel. Terdapat dua jenis fleksibilitas dalam berpikir, yaitu fleksibilitas spontan dan fleksibilitas adaptif. Fleksibilitas spontan mengacu pada kemampuan untuk menghasilkan berbagai kelompok pemikiran yang beragam tanpa terpengaruh oleh kebiasaan berpikir yang kaku atau kecenderungan untuk bertahan pada satu cara berpikir tertentu, sehingga memungkinkan ide-ide tersebut terus berkembang. Sementara itu, fleksibilitas adaptif merujuk pada kemampuan untuk menyesuaikan cara berpikir dalam menyelesaikan permasalahan yang kompleks, terutama ketika dibutuhkan solusi yang tidak biasa, sehingga mencerminkan kemudahan individu dalam berpindah dari satu pendekatan ke pendekatan lain dan menunjukkan keluwesan berpikir.

3. *Originality* (keaslian) adalah kemampuan menghasilkan gagasan yang orisinal dan unik merupakan bagian dari keterampilan berpikir kreatif yang berfokus pada penciptaan ide-ide baru secara pedagogis. Ciri khas dari kemampuan ini terlihat pada respons yang tidak lazim namun tetap logis, tidak bertentangan, dan dapat diterima secara bersamaan. Individu yang memiliki kemampuan ini cenderung memberikan asosiasi ide yang luas dan berbeda dari pola pikir pada umumnya, sehingga mencerminkan orisinalitas.
4. *Elaboration* (penguraian) adalah kemampuan untuk merinci, menilai, mengembangkan, dan memperkaya suatu gagasan secara mendalam. Keterampilan ini mencakup kemampuan menambahkan detail dan makna pada solusi serta pemikiran orisinal, sehingga ide-ide yang dikembangkan menjadi lebih lengkap dan terstruktur. Dalam konteks pembelajaran, keterampilan ini penting untuk melatih peserta didik agar mampu mengembangkan gagasan orang lain serta menyusun langkah-langkah secara terperinci dan sistematis.

Adapun aspek dan indikator keterampilan berpikir kreatif menurut Greenstein (2012) dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Aspek dan Indikator Kemampuan Berpikir Kreatif

No.	Aspek	Indikator
1.	<i>Fluency</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memiliki banyak ide b. Memiliki banyak pertanyaan c. Memiliki banyak alternatif jawaban dan pemecahan masalah
2.	<i>Flexibility</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memiliki berbagai pendekatan untuk memecahkan masalah b. Tidak terpaku pada pola pikir lama c. Memiliki kemampuan untuk menyampaikan berbagai ide tanpa takut salah d. Memberikan berbagai macam interpretasi
3.	<i>Originality</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memiliki kemampuan untuk menghasilkan ide b. Mampu membuat kombinasi yang baru dan unik c. Menggunakan cara-cara yang tidak biasa dalam mengekspresikan diri, dan mampu mengeksplorasi solusi yang memungkinkan
4.	<i>Elaboration</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Memberikan pertimbangan berdasarkan sudut pandang sendiri b. Menentukan pendapat tentang suatu hal c. Menganalisis masalah-masalah kritis atau penyeselan dengan selalu bertanya "mengapa?" d. Memiliki alasan yang dapat dipertanggungjawabkan

(Greenstein, 2012)

Adapun aspek dan aktivitas keterampilan berpikir kreatif menurut Putri (2024) dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Aspek dan Aktivitas Kemampuan Berpikir Kreatif

No.	Aspek	Aktivitas
1.	<i>Fluency</i>	Peserta didik diminta untuk mengidentifikasi sejumlah masalah berdasarkan wacana dan menuliskan sejumlah gagasan tentang proyek yang akan dilakukan dalam rangka menyelesaikan masalah limbah serbuk kayu.
2.	<i>Flexibility</i>	Peserta didik diminta untuk merencanakan proyek, juga menuliskan beberapa gagasan tentang tujuan proyek dan pentingnya proyek.

3. <i>Originality</i>	Peserta didik menggagas rincian alat dan bahan proyek yang umum digunakan dan yang berbeda dengan proyek pengolahan limbah serbuk kayu pada umumnya, menuliskan gagasan uraian prosedur proyek pada umumnya dan yang berbeda dengan proyek pengolahan limbah serbuk kayu pada umumnya.
4. <i>Elaboration</i>	Peserta didik bersedia atau ingin menambahkan gagasan atau produk orang lain dengan lebih detail agar lebih menarik.

(Putri, 2024)

Berpikir kreatif merupakan landasan utama dalam munculnya kreativitas. Kreativitas sendiri dapat diartikan sebagai kemampuan seseorang untuk menciptakan ide, produk, atau komposisi yang bersifat baru dan relevan dengan tugas tertentu. Menurut Al-Sulaiman (2009), kreativitas juga merupakan suatu proses yang melibatkan kontribusi ide-ide baru, sudut pandang yang berbeda, serta cara-cara inovatif dalam memahami dan memecahkan permasalahan, di mana kebebasan individu menjadi unsur penting dalam mengekspresikan diri. Konteks pembelajaran menunjukkan kreativitas melalui kemampuan peserta didik merancang solusi inovatif, seperti mengembangkan produk energi alternatif berbasis limbah yang ramah lingkungan. Produk tersebut tidak hanya berupa hasil fisik, tetapi juga merepresentasikan pemikiran kreatif peserta didik dalam menjawab permasalahan nyata di lingkungan sekitarnya.

2.1.6. *Sustainability Literacy*

Sustainability Literacy merupakan proses pembelajaran yang bertujuan untuk meningkatkan kesadaran peserta didik terhadap berbagai isu keberlanjutan serta mengembangkan keterampilan penting seperti komunikasi, pemecahan masalah,

manajemen perubahan, dan berpikir sistematis (Qureshi, 2020). Seseorang dapat dikatakan memiliki *Sustainability Literacy* jika ia memahami isu-isu keberlanjutan, memiliki sikap peduli terhadap lingkungan dan sosial, serta mampu mengambil tindakan yang bertanggung jawab untuk mendukung kehidupan berkelanjutan.

Integrasi konsep kehidupan berkelanjutan ke dalam kurikulum pendidikan dapat membentuk kesadaran peserta didik mengenai pentingnya pelestarian lingkungan dan penghematan sumber daya. Hal ini berpotensi memberikan dampak positif bagi masyarakat melalui perubahan sikap terhadap isu-isu krusial, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kualitas hidup. Pendidik perlu menyesuaikan bahan ajar yang dapat mendorong peserta didik merefleksikan sikap, perilaku, serta pilihan hidup mereka agar terlibat secara aktif dalam mewujudkan kehidupan berkelanjutan.

Sustainability Literacy yang merupakan bagian dari *Education for Sustainable Development* (ESD) memberikan kesempatan bagi peserta didik untuk memperoleh pengetahuan dan keterampilan dalam mengelola berbagai hal. Melalui proses pengelolaan suatu produk, peserta didik dapat mengembangkan kemampuan berpikir kreatif guna menciptakan hasil karya. Kegiatan produksi tersebut diharapkan mampu meningkatkan literasi keberlanjutan peserta didik secara signifikan.

Adapun aspek dan indikator *Sustainability Literacy* menurut Anggraini *et al.* (2023) dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Aspek dan Indikator *Sustainability Literacy*

No.	Aspek	Indikator
1.	Pengetahuan	a. Menjelaskan konsep dasar sumber energi baik terbarukan maupun tak terbarukan b. Mengklasifikasi berbagai sumber energi baik terbarukan maupun tak terbarukan

		c. Menganalisis dampak dari sumber energi yang menipis
		d. Menentukan tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi/memberikan alternatif dalam mencegah kehabisan sumber energi
2.	Keterampilan	a. Menganalisis permasalahan yang berkaitan dengan menipisnya sumber energi untuk menentukan solusi yang tepat
		b. Merancang solusi praktis terkait permasalahan sumber energi yang menipis
		c. Berkolaborasi dalam kelompok untuk membuat <i>Project</i> yang mendukung keberlanjutan
3.	Sikap	a. Menerapkan praktik berkelanjutan dalam mengatasi permasalahan
		b. Menunjukkan kepedulian dan tanggung jawab terhadap lingkungan sekitar
		c. Berperan aktif dalam diskusi kelompok mengenai solusi keberlanjutan

(Anggraini *et al.*, 2023)

2.1.7. Limbah Serbuk Kayu

Serbuk kayu merupakan limbah yang dihasilkan dari proses penggergajian, berupa butiran halus atau serutan kecil sisa potongan kayu. Limbah ini umumnya berasal dari kegiatan konstruksi bangunan serta industri pengolahan kayu seperti pembuatan kayu lapis dan furnitur (Saefullah, 2022). Permasalahan utama yang muncul dari limbah penggergajian ini adalah belum optimalnya pemanfaatan di lapangan. Akibatnya, limbah serbuk kayu masih banyak yang ditumpuk, dibuang ke sungai yang dapat mencemari air, atau dibakar langsung sehingga berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon di atmosfer.

Secara umum, serbuk kayu memiliki nilai kalor yang berkisar antara 4018,25 kal/g hingga 5975,58 kal/g, dengan komposisi kimia yang bervariasi tergantung pada jenis kayu dan media tumbuhnya. Karakteristik fisik serbuk kayu meliputi ukuran partikel yang beragam, mulai dari sangat halus hingga agak kasar (Dwiyati *et al.*, 2017). Selain itu, kadar air dalam serbuk kayu juga bervariasi, bergantung

pada kondisi penyimpanannya. Adapun komposisi kimianya secara umum dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Komponen Kimia Serbuk Kayu

No	Komponen Kimia	Kandungan (%)
1.	Holosellulosa	70.52
2.	Sellulosa	40.99
3.	Lignin	27.88
4.	Pentosan	16.89
5.	Abu	2.38
6.	Air	5.64

(Dwiyati *et al.*, 2017)

Karakteristik serbuk kayu mendukung potensinya untuk dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, salah satunya sebagai bahan bakar alternatif. Serbuk kayu memiliki potensi yang besar sebagai sumber energi alternatif karena kandungan karbonnya yang tinggi (Masyuroh & Rahmawati, 2022). Penggunaan serbuk kayu sebagai energi alternatif memberikan sejumlah manfaat, antara lain ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang terbarukan, mengingat serbuk kayu merupakan limbah dari industri pengolahan kayu yang terus berproduksi (Sari & Aminah, 2020). Selain itu, emisi karbon yang dihasilkan dari pembakaran serbuk kayu relatif lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, sehingga lebih ramah lingkungan. Pemanfaatan serbuk kayu sebagai bahan bakar alternatif tidak hanya meningkatkan nilai guna limbah, tetapi juga membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

2.1.8. Energi Alternatif

Energi alternatif merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk menggantikan bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin terbatas. Seiring meningkatnya kebutuhan energi dan berkurangnya cadangan energi fosil,

pengembangan energi alternatif menjadi solusi berkelanjutan yang perlu dikedepankan. Salah satu bentuk energi alternatif yang banyak dibahas adalah bahan bakar alternatif (*alternative fuel*), yaitu sumber energi yang digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Bahan bakar alternatif ini dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain biomassa, energi matahari, angin, dan hidrogen. Tujuan utama pemanfaatan *alternative fuel* adalah untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan dan meminimalkan dampak lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca (Purnama *et al.*, 2013). Contoh bahan bakar alternatif antara lain bioetanol, biodiesel, serta briket yang berasal dari limbah industri seperti serbuk kayu.

Briket merupakan bahan bakar padat yang diperoleh melalui proses pemadatan material seperti serbuk kayu, limbah pertanian, atau bahan organik lainnya. Kualitas briket dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain tingkat kepadatan, kadar air, serta nilai kalor atau daya bakarnya (Purnama *et al.*, 2013). Briket yang memiliki kualitas baik ditandai dengan kepadatan tinggi, kadar air rendah, dan nilai kalor yang besar, sehingga mampu terbakar secara efisien dan menghasilkan energi secara optimal. Kualitas tersebut dapat dipastikan melalui pengujian komposisi kimia briket, meliputi kandungan abu, karbon, serta zat lainnya guna menjamin kesesuaian dengan standar performa dan aspek keamanan. Adapun standar kualitas briket arang kayu dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Standar Kualitas Briket Arang Kayu

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
Kadar air	%	Maksimum 8
Kadar abu	%	Maksimum 8
Kalori	Cal/g	Maksimum 5000

Sumber: SNI 01-6235-2000

Kualitas briket juga dipengaruhi oleh jenis dan jumlah perekat yang digunakan dalam proses pembuatannya (Shobar *et al.*, 2020). Perekat merupakan bahan yang

memiliki kemampuan untuk menyatukan dua permukaan melalui ikatan adhesi. Pemilihan jenis perekat sangat berpengaruh terhadap nilai kalor, stabilitas, dan daya tahan briket. Berdasarkan fungsi dan kualitasnya, perekat yang digunakan idealnya memenuhi beberapa kriteria, yaitu:

- a. Memiliki gaya kohesi yang baik ketika dicampur dengan semikokas.
- b. Mudah terbakar dan tidak menghasilkan asap.
- c. Tersedia dalam jumlah banyak dengan harga yang terjangkau.
- d. Tidak berbau, tidak beracun, dan aman bagi lingkungan maupun pengguna.

Menurut Hanandito dan Sulthon (2012), jenis perekat yang sesuai untuk pembuatan briket adalah yang memiliki konsentrasi optimal dalam meningkatkan nilai kalor, kestabilan, dan ketahanan briket. Data mengenai performa berbagai jenis perekat dapat dilihat dalam hasil penelitian (Hanandito & Sulthon, 2012). Adapun uji nilai kalor berbagai jenis perekat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Uji Nilai Kalor

Jenis Perekat	Nilai Kalor (kal/g)
Tapioka	6332.654
Terigu	6455.888
Molases	6106.239
Silikat	5808.168

(Hanandito & Sulthon, 2012)

Jenis bahan perekat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap nilai kalor briket. Berdasarkan data pada Tabel 6, perekat berbahan dasar terigu menghasilkan nilai kalor tertinggi dibandingkan dengan jenis perekat lainnya, yaitu sebesar 6455,88 kal/g.

Tabel 7. Uji Shatter Index

Jenis Perekat	% Loss
Tapioka	13.32%
Terigu	20.65%
Molases	15.31%
Silikat	9.88%

(Hanandito & Sulthon, 2012)

Tabel 8. Uji Stabilitas

Jenis Perekat	Dimensi	<i>Stability</i>				
		Waktu (hari)				
		1	2	3	4	5
Tapioka	Diameter (cm)	4	4	4	4	4
	Tinggi (cm)	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1
Terigu	Diameter (cm)	4	4	3.9	3.9	3.9
	Tinggi (cm)	4	4	3.9	3.9	3.9
Molases	Diameter (cm)	4	4	3.9	3.9	3.9
	Tinggi (cm)	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
Silikat	Diameter (cm)	4	4	4	4	4
	Tinggi (cm)	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1

(Hanandito & Sulthon, 2012)

Berdasarkan Tabel 7 dan 8, perekat berbahan dasar silikat menunjukkan hasil terbaik dalam uji stabilitas dan *shatter index* (ketahanan terhadap benturan), karena mampu mempertahankan ukuran briket (diameter 4 cm dan tinggi 4,1 cm) dengan kehilangan massa hanya sebesar 9,88%. Namun, seperti yang terlihat pada Tabel 8, silikat memiliki nilai kalor paling rendah, yaitu sebesar 5808,168 kal/g. Oleh karena itu, pemilihan jenis perekat perlu mempertimbangkan tiga aspek utama, yakni nilai kalor, *shatter index*, dan stabilitas. Berdasarkan data yang diperoleh, tepung tapioka menjadi pilihan yang paling memenuhi ketiga kriteria

tersebut. Tepung tapioka memiliki nilai kalor tertinggi kedua setelah terigu, yaitu 6332,654 kal/g, *shatter index* terbaik kedua setelah silikat sebesar 13,32%, dan stabilitas yang juga baik, dengan ukuran briket hanya mengalami sedikit perubahan tinggi dari 4,2 cm menjadi 4,1 cm, sementara diameternya tetap 4 cm.

Berdasarkan hasil data yang diperoleh, bahan perekat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung tapioka. Tepung tapioka dipilih karena harganya terjangkau dan mudah diperoleh (Ningsih & Hajar, 2019). Selain itu, penggunaan tepung tapioka sebagai perekat mampu menghasilkan briket yang tidak menimbulkan asap serta memiliki daya tahan yang (Faijah *et al.*, 2020).

2.2 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan diteliti terlihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Penelitian Relevan

Nama Peneliti	Nama Jurnal	Judul Artikel	Hasil Penelitian
(Omanda <i>et al.</i> , 2023)	<i>Randwick International of Education and Linguistics Science Journal</i>	<i>Development of Student Worksheets Based Project Based Learning to Improve High-Level Thinking Skills (Hots) on Magnetic Material</i>	Penelitian ini menghasilkan LKPD berbasis PjBL dengan fokus pada keterampilan berpikir tingkat tinggi, termasuk berpikir kreatif, yang sangat baik, mendukung efektivitas LKPD untuk melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi, termasuk berpikir kreatif. Hasil validasi oleh ahli materi dan bahasa memperlihatkan

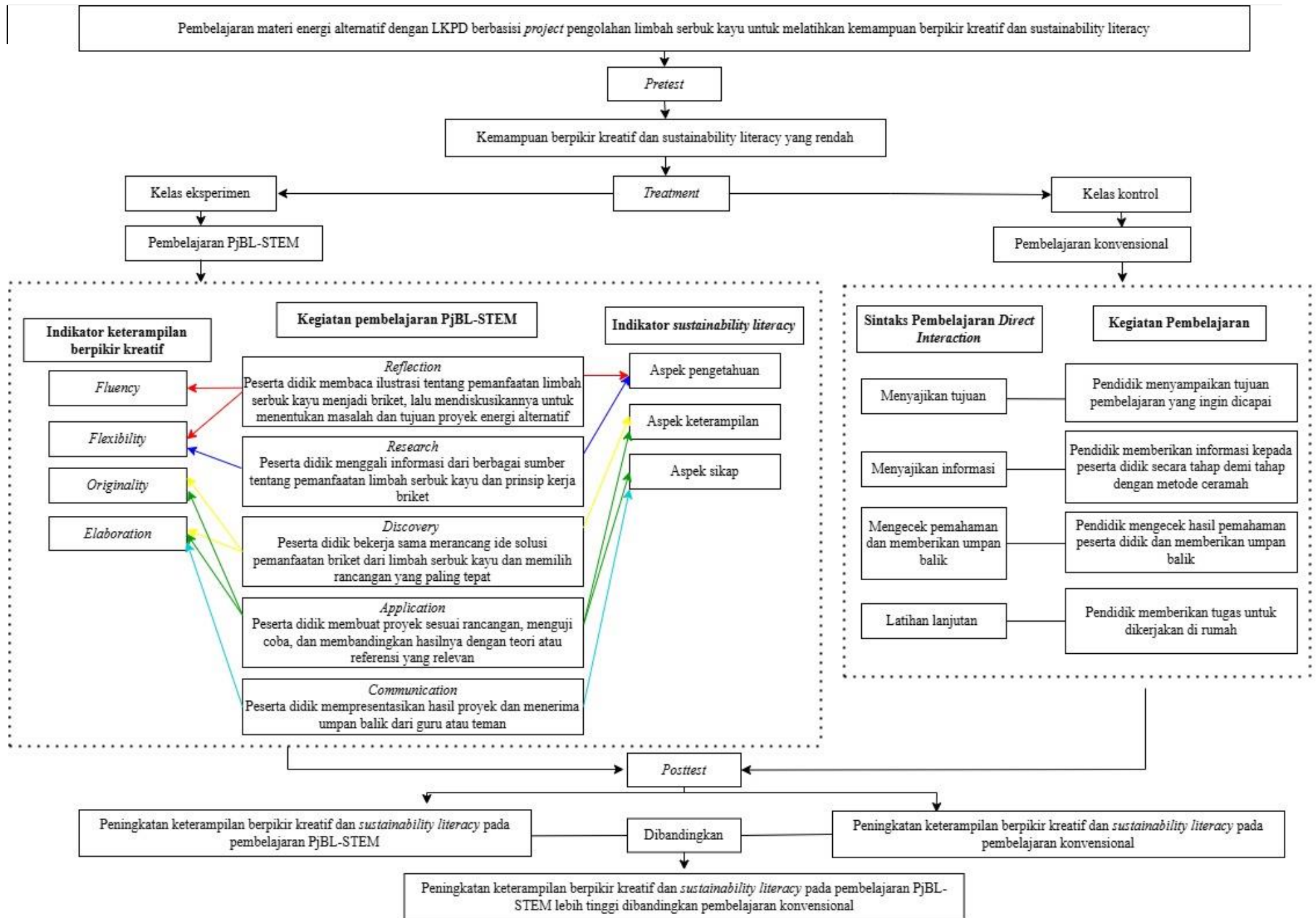
			bahwa LKPD ini sangat valid dan praktis untuk digunakan
(Ayu <i>et al.</i> , 2023)	Jurnal EDUFORTECH	Penerapan <i>Project-Based Learning</i> pada Topik Pengelolaan Sampah untuk Meningkatkan <i>Sustainability Literacy</i> Siswa Terdampak Gempa Bumi	Penelitian ini menghasilkan LKPD berbasis <i>Project</i> pada tema pengelolaan sampah dapat meningkatkan kesadaran siswa terhadap masalah keberlanjutan lingkungan dan membangun kompetensi mereka terkait interaksi antara manusia dan alam. Hal ini sejalan dengan tujuan utama <i>sustainability literacy</i> yaitu mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan keberlanjutan di masa depan.
(Supriatna <i>et al.</i> , 2020)	Jurnal Online STIT Rakeyan Santang	Upaya Meningkatkan Hasil Belajar IPA Materi Energi Alternatif Melalui Penerapan Model <i>Project Based Learning</i>	Hasil dari penelitian ini yaitu adanya peningkatan hasil belajar IPA pada materi Energi Alternatif setelah melalui penerapan model PjBL dikatakan berhasil.
(Angraini <i>et al.</i> , 2023)	Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)	<i>Development of Learning Program Based on Multiple Representations Integrated with PjBL George Lucas and STEM to Foster Students' Sustainability Literacy</i>	Penelitian ini mengungkapkan bahwa program pembelajaran yang menggabungkan multirepresentasi dan <i>Project Based Learning</i> (PjBL) George Lucas dengan pendidikan STEM efektif dalam meningkatkan <i>sustainability literacy</i> peserta didik.

2.3 Kerangka Pemikiran

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dalam meningkatkan keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* peserta didik. Penelitian ini melibatkan dua kelas sebagai sampel, yaitu kelas eksperimen yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah organik dan kelas kontrol yang tetap menggunakan pembelajaran konvensional. LKPD yang digunakan di kelas eksperimen berperan sebagai media pembelajaran yang dirancang untuk menarik perhatian peserta didik serta memberikan kesempatan bagi mereka untuk mengembangkan keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy*.

Sebelum diberikan *treatment* pada dua kelas sampel, terlebih dahulu dilakukan *pretest* untuk mengetahui dan mengukur kemampuan awal peserta didik. Selanjutnya, dilaksanakan *posttest* guna melatih keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy*, sekaligus melihat adanya peningkatan setelah penerapan *treatment* yang berbeda pada masing-masing kelas. Proses pembelajaran dengan LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu mencakup lima tahapan, yaitu *fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration*. Melalui tahapan-tahapan tersebut, keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik dapat dikembangkan pada materi energi alternatif.

Kegiatan pembelajaran dilaksanakan secara berkelompok, sehingga mendorong interaksi antar anggota kelompok dan membuat peserta didik lebih aktif dalam proses belajar. Setelah melalui seluruh tahapan pembelajaran berbasis *project*, terlihat adanya peningkatan pada keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik. Kerangka pemikiran penelitian ini secara ringkas ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

2.4 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada perbedaan keterampilan berpikir kreatif peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_1 : Terdapat perbedaan keterampilan berpikir kreatif peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_0 : Tidak ada perbedaan *Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_1 : Terdapat perbedaan *Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_0 : Tidak ada perbedaan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_1 : Terdapat perbedaan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMAN 1 Gadingrejo pada semester ganjil Tahun Ajaran 2025/2026 yakni pada tanggal 5 November 2025 sampai dengan 3 Desember 2026.

3.2 Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh peserta didik kelas X di SMAN 1 Gadingrejo dengan total 396 peserta didik yang terbagi ke dalam 11 kelas. Jumlah peserta didik laki-laki sebanyak 127 orang, sedangkan peserta didik perempuan berjumlah 269 orang. Sampel diambil dari dua kelas yang berfungsi sebagai kelas eksperimen dan kelas kontrol. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah teknik *simple random sampling*, di mana sampel diambil secara acak dari populasi tanpa mempertimbangkan strata yang ada, sehingga setiap anggota populasi memiliki kesempatan yang sama untuk terpilih sebagai sampel. Kelas X.11 ditetapkan sebagai kelas kontrol, sedangkan kelas X.10 dijadikan kelas eksperimen yang diberikan perlakuan berupa LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan dua jenis variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah efektivitas LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu, sedangkan variabel terikatnya mencakup hasil belajar keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* peserta didik.

3.4 Desain Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif eksperimen yang secara sistematis mengkaji bagian-bagian, fenomena, dan hubungan antar variabel. Metode yang digunakan adalah *quasi eksperimen* dengan desain *pretest-posttest control group*. Desain ini menetapkan satu kelas sebagai kelas eksperimen yang menerima perlakuan berupa LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu, sementara kelas lainnya berperan sebagai kelas kontrol yang mengikuti pembelajaran konvensional. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* dengan membandingkan hasil *pretest* dan *posttest* dari kedua kelas tersebut. Adapun desain eksperimen *Non-Equivalent Control Group* dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Desain Eksperimen *Non-Equivalent Control Group*

Kelas	<i>Pretest</i>	Perlakuan	<i>Posttest</i>
Eksperimen	O_1	X_1	O_2
Kontrol	O_3	X_2	O_4

Berikut ini adalah desain penelitian pada kelas eksperimen dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Desain Penelitian Kelas Eksperimen

<i>O₁</i>	<i>X₁</i> PjBL menurut Laboy Rush	Aktivitas		Indikator Berpikir Kreatif	<i>O₂</i>
		Pendidik	Peserta didik		
<i>Pretest</i> Keterampilan berpikir kreatif dan <i>Sustainability</i> <i>Literacy</i> peserta didik.	<i>Reflection</i> (Refleksi)	Guru membuka kelas dengan apersepsi, menayangkan gambar, wacana atau video, mengajukan pertanyaan pemantik terkait fenomena yang ditayangkan sebelumnya. (guru memberikan perintah untuk mengidentifikasi)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengidentifikasi tiga masalah berdasarkan wacana yang disajikan 2. Menuliskan tiga rumusan masalah berdasarkan wacana yang disajikan 3. Menuliskan tiga gagasan tentang proyek yang akan dilakukan dalam rangka menyelesaikan masalah limbah serbuk kayu 		<i>Posttest</i> Keterampilan berpikir kreatif dan <i>Sustainability</i> <i>Literacy</i> peserta didik.
	<i>Research</i> (Penelitian)	<p>Guru memberikan pembelajaran mengenai alat-alat yang akan digunakan oleh peserta didik dalam pembuatan produk sebagai solusi dari permasalahan.</p> <p>Guru juga membebaskan peserta didik untuk mencari informasi tambahan dari berbagai sumber untuk kelancaran pembuatan produk.</p>	Peserta didik mencari informasi dari berbagai sumber dan menuliskan tiga gagasan tentang tujuan dan pentingnya proyek pengolahan limbah serbuk kayu.		
	<i>Discovery</i> (Penemuan)	Guru membagi peserta didik kedalam kelompok kecil untuk mendiskusikan terkait solusi yang bisa menjawab permasalahan.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik menggagas rincian alat dan bahan proyek pengolahan limbah serbuk kayu pada. 2. Peserta didik menuliskan uraian prosedur proyek pengolahan limbah serbuk kayu secara rinci. 3. Peserta didik menjelaskan fungsi dan kegunaan setiap komponen yang terdapat pada rancangan 		

<i>O₁</i>	<i>X₁</i> PjBL menurut Laboy Rush	Aktivitas		Indikator Berpikir Kreatif	<i>O₂</i>
		Pendidik	Peserta didik		
			<p>proyek pengolahan limbah serbuk kayu.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Peserta didik menyusun rincian alat dan bahan yang berbeda dari kebiasaan umum dalam pelaksanaan proyek pengolahan limbah serbuk kayu. 5. Peserta didik menuliskan gagasan tentang variasi komposisi bahan yang berbeda dalam proyek pengolahan limbah serbuk kayu. 6. Peserta didik menggambarkan desain proyek dengan menggunakan alat atau cara yang belum umum digunakan. 7. Peserta didik menyusun uraian prosedur yang berbeda dari proyek pengolahan limbah serbuk kayu pada umumnya. 8. Peserta didik menuliskan gagasan tentang pembagian tugas dalam kelompok proyek disertai deskripsi peran setaiap anggota. 		
	Application (Aplikasi)	Guru mendampingi peserta didik dalam proses pembuatan produk sebagai solusi dari permasalahan.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik merakit alat dan bahan proyek pengolahan limbah serbuk kayu dengan menghasilkan briket. 2. Peserta didik melakukan praktik pengolahan limbah serbuk kayu untuk membuktikan keberhasilan produk. 		

<i>O₁</i>	<i>X₁</i> PjBL menurut Laboy Rush	Aktivitas		Indikator Berpikir Kreatif	<i>O₂</i>
		Pendidik	Peserta didik		
			<ol style="list-style-type: none"> 3. Peserta didik mendokumentasikan setiap pelaksanaan kegiatan proyek pengolahan limbah serbuk kayu. 4. Peserta didik menjaring informasi mengenai metode atau cara untuk menguji produk pemanfaatan limbah serbuk kayu. 5. Peserta didik menyusun laporan secara sistematis berdasarkan hasil dari pelaksanaan proyek yang telah dibuat. 6. Peserta didik merumuskan kendala-kendala yang dihadapi selama proses pelaksanaan proyek. 		
	Communication (Komunikasi)	Guru meminta siswa untuk mempresentasikan dan mendemonstrasikan produk yang telah mereka buat oleh masing-masing kelompok.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mempresentasikan hasil produk yang dihasilkan. 2. Peserta didik menjelaskan prosedur dan hasil kerja secara lisan. 3. Peserta didik memberikan argumen atau jawaban atas pertanyaan dari kelompok lain. 		

Tabel 12. Desain Penelitian Kelas Kontrol

<i>O₃</i>	<i>X₂</i> <i>Direct Interaction</i>	<i>Aktivitas</i>		<i>O₄</i>
		<i>Pendidik</i>	<i>Peserta didik</i>	
<i>Pretest</i> Keterampilan berpikir kreatif dan <i>Sustainability Literacy</i> peserta didik.	Menyampaikan tujuan serta mempersiapkan murid	Guru menjelaskan tujuan pembelajaran, informasi latar belakang pelajaran, pentingnya mempelajari hal yang akan dibahas, dan mempersiapkan murid untuk belajar.	Mendengarkan penjelasan guru, memperhatikan tujuan yang disampaikan, dan merespons pertanyaan awal guru.	<i>Posttest</i> Keterampilan berpikir kreatif dan <i>Sustainability Literacy</i> peserta didik.
	Mendemonstrasikan pengetahuan serta keterampilan	Guru menjelaskan konsep atau keterampilan baru secara jelas dan juga memberikan contoh serta menunjukkan cara mengerjakan	Mengamati penjelasan, mencatat poin penting, mengajukan pertanyaan bila ada yang belum dipahami.	
	Membimbing pelatihan	Guru memberi arahan, umpan balik, dan koreksi jika ada kesalahan	Peserta didik mencoba menerapkan materi dengan bimbingan guru.	
	Mengecek pemahaman serta memberi umpan balik	Mengecek apakah murid sudah berhasil dalam melakukan tugas dengan baik dan memberi umpan balik dengan memberikan soal atau latihan sederhana, membimbing pengerjaan, memberi contoh tambahan.	Mengerjakan latihan dengan arahan guru, berdiskusi dengan teman, mencoba menyelesaikan contoh soal.	
	Memberi kesempatan untuk pelatihan lanjutan serta penerapan	Guru memberi kesempatan untuk melaksanakan pelatihan lanjutan, dengan memberikan soal atau tugas individu untuk memperdalam pemahaman.	Mengerjakan soal secara mandiri, ataupun menyelesaikan tugas rumah.	

Keterangan:

X_1 : *Treatment* pada kelas eksperimen (pembelajaran energi alternatif dengan menggunakan LKPD berbasis proyek pengolahan limbah serbuk kayu)

X_2 : *Treatment* pada kelas kontrol (pembelajaran energi alternatif dengan menggunakan LKPD konvensional yang ada di sekolah)

O_1 : *Pretest* keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* pada kelas eksperimen

O_2 : *Posttest* keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* pada kelas eksperimen

O_3 : *Pretest* keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* pada kelas kontrol

O_4 : *Posttest* keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* pada kelas kontrol

3.5 Prosedur Pelaksanaan

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

1. Tahap persiapan

Kegiatan yang terdapat pada tahap persiapan meliputi hal berikut.

- a. Peneliti mengajukan permohonan izin untuk melaksanakan penelitian di SMAN 1 Gadingrejo.
- b. Peneliti kemudian melakukan wawancara dengan guru fisika di SMAN 1 Gadingrejo.
- c. Peneliti memilih sampel yang akan digunakan dalam penelitian.
- d. Peneliti menyusun instrumen yang diperlukan untuk penelitian.

2. Tahap pelaksanaan

Kegiatan-kegiatan yang terdapat pada tahap pelaksanaan terdiri dari beberapa kegiatan berikut:

a. Kelas eksperimen

Kegiatan pembelajaran kelas eksperimen akan disesuaikan terhadap modul ajar yang sudah dipersiapkan sebelumnya. Peneliti akan berperan sebagai pendidik yang diamati oleh seorang pengamat, yang bertugas memantau proses pembelajaran dan mengisi lembar analisis keterlaksanaan pembelajaran. Mata pelajaran fisika di kelas eksperimen X.10 mengadopsi LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan fokus pada materi energi alternatif.

b. Kelas kontrol

Pada kelas kontrol, pelaksanaan kegiatan pembelajaran akan disesuaikan pada Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) yang sudah dipersiapkan oleh pendidik pengampu, yang menerapkan metode pembelajaran konvensional mata pelajaran fisika di kelas kontrol X.11 menggunakan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) konvensional dengan fokus pada materi energi alternatif.

Kegiatan yang akan dilaksanakan pada tahap pelaksanaan, yaitu dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Tahap Pelaksanaan pada Kelas Eksperimen dan Kontrol

Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
Memberikan <i>Pretest</i> untuk mengukur keterampilan berpikir kreatif dan <i>Sustainability Literacy</i> peserta didik.	Memberikan <i>Pretest</i> untuk mengukur keterampilan berpikir kreatif dan <i>Sustainability Literacy</i> peserta didik.
Melakukan kegiatan pembelajaran menggunakan LKPD berbasis <i>Project</i> pengolahan limbah serbuk kayu.	Melakukan kegiatan pembelajaran menggunakan LKPD Konvensional.
Memberikan <i>posttest</i> setelah kegiatan pembelajaran selesai.	Memberikan <i>posttest</i> setelah kegiatan pembelajaran selesai.

3. Tahap akhir

Kegiatan pada tahap akhir terdiri dari beberapa poin, yaitu:

- a. Pengolahan data yang berasal dari hasil *pretest* serta *posttest* para peserta didik, dan instrumen pendukung lainnya yang digunakan.
- b. Melakukan perbandingan dari hasil analisis yang didapatkan dari instrumen tes sebelum dan pasca perlakuan untuk menentukan dan melihat apakah terdapat perbedaan dalam peningkatan keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol.
- c. Menyimpulkan hasil yang didasarkan pada analisis data yang diperoleh, dan dilanjutkan dengan menyusun laporan penelitian.

3.6 Instrumen Penelitian

Peneliti menggunakan instrumen penelitian, yaitu lembar tes hasil belajar.

Lembar tes ini digunakan pada saat *pretest* dan *posttest*, dengan bentuk soal esai yang disusun berdasarkan indikator keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy*. Tes ini bertujuan untuk mengukur hasil belajar peserta didik sebelum dan sesudah penerapan LKPD berbasis *project* pengolahan limbah

serbuk kayu dalam proses pembelajaran. Soal-soal esai dirancang untuk merepresentasikan indikator keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* yang menjadi fokus dalam penelitian. Melalui penggunaan tes ini pada kedua tahap pengukuran, peneliti dapat mengamati dan menganalisis peningkatan keterampilan berpikir kreatif peserta didik sebagai dampak dari efektivitas LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu.

3.7 Analisis Instrumen Penelitian

Penggunaan instrumen dalam penelitian ini didahului dengan tahap pengujian untuk dilanjutkan menganalisis. Pengujian dilakukan melalui uji validitas dan uji reliabilitas dengan menggunakan bantuan *software IBM SPSS Statistics 27.0*.

3.7.1. Uji Validitas

Suatu instrumen dikatakan valid apabila mampu mengukur secara tepat apa yang seharusnya diukur. Uji validitas terhadap instrumen *pretest* dan *posttest* dilakukan untuk mengetahui sejauh mana instrumen tersebut dapat mengukur aspek keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* yang menjadi fokus dalam penelitian. Instrumen yang memiliki tingkat validitas tinggi dianggap sebagai instrumen yang valid, sedangkan instrumen dengan tingkat validitas rendah dikategorikan sebagai tidak valid (Arikunto, 2019).

Pengujian validitas instrumen sering melibatkan penggunaan rumus korelasi *product moment* oleh *Pearson*. Berikut merupakan rumus korelasi *product moment*:

$$r_{xy} = \frac{N\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2 N\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2}}$$

Keterangan:

N : Jumlah peserta didik yang dites

ΣX : Jumlah skor item nomor

ΣY : Jumlah skor total

ΣXY : Jumlah (skor item x skor total)

ΣX^2 : Jumlah kuadrat skor item

ΣY^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 valid.

Interpretasi koefisien validitas butir soal yang diperoleh dari uji validitas dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Interpretasi Koefisien Validitas Instrumen

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
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)

1. Uji Validitas Soal Keterampilan Berpikir Kreatif

Uji validitas soal dalam penelitian ini diolah menggunakan SPSS versi 27.0.

Berikut merupakan hasil uji validitas instrumen tes keterampilan berpikir kreatif pada materi energi alternatif yang dapat dilihat pada Tabel 15 dan secara lengkap pada lampiran halaman 185.

Tabel 15. Hasil Uji Validitas Keterampilan Berpikir Kreatif

Nomor Soal	Person Correlation	Interpretasi
1	0,706	Valid

2	0,601	Valid
3	0,641	Valid
4	0,803	Sangat Valid
5	0,792	Valid

Kriteria pengujian didasarkan pada hasil nilai Pearson Correlation yang dibandingkan dengan besaran nilai r_{tabel} yaitu sebesar 0,344. Berdasarkan hasil uji validitas instrumen instrumen tes keterampilan berpikir kreatif pada materi energi alternatif diketahui bahwa 5 butir soal semuanya valid dengan nilai *Pearson Correlation* > 0,344.

2. Uji Validitas Soal *Sustainability Literacy*

Uji validitas soal dalam penelitian ini diolah menggunakan SPSS versi 27.0.

Berikut merupakan hasil uji validitas instrumen tes keterampilan berpikir kreatif pada materi energi alternatif yang dapat dilihat pada Tabel 16 dan secara lengkap pada lampiran halaman 186.

Tabel 16. Hasil Uji Validitas *Sustainability Literacy*

Nomor Soal	<i>Person Correlation</i>	Interpretasi
1	0,893	Sangat Valid
2	0,667	Valid
3	0,609	Valid

Kriteria pengujian didasarkan pada hasil nilai Pearson Correlation yang dibandingkan dengan besaran nilai r_{tabel} yaitu sebesar 0,344. Berdasarkan hasil uji validitas instrumen instrumen tes *Sustainability Literacy* pada materi energi alternatif diketahui bahwa 3 butir soal semuanya valid dengan nilai *Pearson Correlation* > 0,344.

3.7.2. Uji Reliabilitas

Instrumen dikatakan reliabel apabila mampu menghasilkan data yang konsisten atau stabil saat digunakan berulang kali untuk mengukur objek yang sama. Uji reliabilitas dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keandalan instrumen *pretest* dan

posttest dalam mengukur keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy*, serta memastikan konsistensi hasil pengukuran yang diperoleh.

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 17. Interpretasi Reliabilitas Instrumen

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).

1. Uji Reliabilitas Soal Keterampilan Berpikir Kreatif

Uji reliabilitas soal dalam penelitian ini diolah menggunakan SPSS versi 27.0.

Berikut merupakan hasil uji reliabilitas instrumen tes keterampilan berpikir kreatif pada materi energi alternatif yang dapat dilihat pada Tabel 18 dan secara lengkap pada lampiran halaman 187.

Tabel 18. Hasil Uji Reliabilitas Keterampilan Berpikir Kreatif

<i>Crombachs Alpha</i>	Jumlah Item
0,674	5

Uji reliabilitas dilaksanakan dengan melibatkan 33 responden dan menggunakan 5 butir soal. Dalam penelitian ini, reliabilitas instrumen soal dianalisis dengan model pengujian *Cronbach Alpha*. Hasil statistik reliabilitas dari pengujian *Cronbach Alpha* menunjukkan bahwa reliabilitas instrumen soal keterampilan berpikir kreatif pada materi energi alternatif mencapai angka 0,674, yang berarti instrumen tersebut dapat dianggap reliabel.

2. Uji Reliabilitas Soal *Sustainability Literacy*

Uji reliabilitas soal dalam penelitian ini diolah menggunakan SPSS versi 27.0. Berikut merupakan hasil uji reliabilitas instrumen tes *Sustainability Literacy* pada materi energi alternatif yang dapat dilihat pada Tabel 19 dan secara lengkap pada lampiran halaman 188.

Tabel 19. Hasil Uji Reliabilitas *Sustainability Literacy*

<i>Crombachs Alpha</i>	Jumlah Item
0,656	3

Uji reliabilitas dilaksanakan dengan melibatkan 33 responden dan menggunakan 5 butir soal. Dalam penelitian ini, reliabilitas instrumen soal dianalisis dengan model pengujian *Cronbach Alpha*. Hasil statistik reliabilitas dari pengujian *Cronbach Alpha* menunjukkan bahwa reliabilitas instrumen soal *Sustainability Literacy* pada materi energi alternatif mencapai angka 0,656, yang berarti instrumen tersebut dapat dianggap reliabel.

3.8 Teknik Pengumpulan Data

3.8.1. Teknik Pengumpulan Data Hasil Belajar

Pengumpulan hasil belajar peserta didik dilakukan menggunakan tes tertulis keterampilan berpikir kreatif berupa *pretest* dan *posttest* dalam bentuk uraian. Tes akan terdiri dari soal-soal serupa, dengan tujuan untuk mengukur peningkatan hasil belajar peserta didik sebelum dan sesudah pembelajaran. Pembelajaran

dilakukan dengan menggunakan LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu di kelas eksperimen, sedangkan pada kelas kontrol menggunakan metode pembelajaran konvensional. Dari nilai *pretest* dan *posttest* yang diperoleh, akan dihitung menggunakan 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 digital akan diperoleh dari rata-rata penilaian yang diberikan pada LKPD digital yang telah dikerjakan oleh para peserta didik. Hasil penilaian tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode analisis persentase, sesuai dengan yang diungkapkan oleh Sudjana (2005:69).

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

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

Tabel 20. Kriteria Keterlaksanaan LKPD

Presentase	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, S. 2011).

3.9 Teknik Analisis Data

Perolehan data dari penelitian ini mencakup hasil *pretest* dan *posttest* yang digunakan untuk mengukur keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy*. Data tersebut dianalisis dengan metode *N-Gain*. Setelah melakukan analisis *N-Gain*, maka akan dilakukan pengujian hipotesis. Sebelum pengujian hipotesis, data akan terlebih dahulu dianalisis menggunakan uji normalitas serta uji homogenitas untuk menentukan apakah pengujian hipotesis akan dilakukan dengan metode parametrik atau nonparametrik. Setelah pengujian hipotesis selesai, dilakukan analisis *effect size* untuk mengukur seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen.

3.9.1. Hitung *N-Gain*

Peningkatan nilai *pretest* dan *posttest* yang menunjukkan keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik dihitung menggunakan rumus gain yang sudah dinormalisasi. Rumus dapat dilihat sebagai berikut.

$$N - gain = \frac{Skor_{posttest} - Skor_{pretest}}{Skor_{maksimum} - Skor_{pretest}}$$

Hasil perolehan nilai dari hitung *N-Gain* dapat diinterpretasikan ke dalam Tabel 21.

Tabel 21. Klasifikasi Rata-Rata *N-Gain*

Batasan	Kriteria
$N - gain \geq 0,7$	Tinggi
$0,7 > N - gain > 0,3$	Sedang
$N - gain \leq 0,3$	Rendah

(Husein *et al.*, 2019)

3.9.2. Uji Normalitas

Uji normalitas data dilakukan untuk mengetahui data gain skor keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak. Hal ini dilakukan untuk menentukan langkah pengujian hipotesis dengan rumusan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : Sampel data skor keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik yang berdistribusi normal

H_1 : Sampel data yang tidak berdistribusi normal skor keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik

Pengambilan keputusan uji normalitas pada penelitian ini menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*. Data dikatakan berdistribusi normal jika pada *Kolmogorov-Smirnov* nilai *sig.* > 0,05 dan sebaliknya data yang tidak berdistribusi normal memiliki nilai *sig.* < 0,05.

3.9.3. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah data sampel dalam penelitian bersifat seragam atau tidak. Jika hasilnya menunjukkan data homogen, maka analisis bisa dilanjutkan dengan uji hipotesis statistik parametrik. Namun, jika datanya tidak homogen, maka digunakan uji hipotesis non-parametrik sebagai alternatif. Penentuan keputusan dapat dilihat pada Tabel 22.

Tabel 22. Penentuan Keputusan Homogenitas

Interval	Kriteria
$sig \geq 0,05$	Homogen
$sig < 0,05$	Tidak Homogen

(Sugiyono, 2013)

3.9.4. Uji *Effect Size* dengan ANCOVA

Effect size adalah ukuran untuk melihat seberapa besar perbedaan antara dua kelompok kelas, yaitu kelas eksperimen yang mendapat perlakuan dan kelas kontrol yang tidak mendapat perlakuan. Tujuan dari uji ini bukan hanya untuk mengetahui apakah ada perbedaan, tetapi juga seberapa besar pengaruh kelas yang diberi perlakuan tersebut terhadap hasil yang diperoleh (Cohen, 2016).

Salah satu cara untuk mengukur *effect size* adalah dengan menggunakan ANCOVA (Analisis Kovarians). ANCOVA merupakan gabungan dari analisis regresi dan ANOVA. Metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap hasil (variabel dependen), sambil mengontrol faktor lain yang mungkin ikut memengaruhi hasil tersebut (Shieh, 2023). Dengan kata lain, ANCOVA membantu mendapatkan hasil yang lebih akurat karena pengaruh dari faktor luar sudah diperhitungkan.

Jika ingin menggunakan uji ANCOVA terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi, antara lain adalah sebagai berikut.

1. Pada hasil uji normalitas, data terdistribusi normal.
2. Pada hasil uji homogenitas, kelas eksperimen dan kontrol terbukti homogen
3. Pada hasil uji homogenitas regresi, terbukti bahwa tidak ada hubungan antara *covariate* dan variabel independen (variabel bebas).
4. Pada hasil uji linearitas, terbukti bahwa ada hubungan antara *covariate* dan variabel dependen (variabel terikat).

Pedoman pengambilan keputusan berdasarkan nilai signifikansi menurut Suyatna (2017) adalah sebagai berikut.

- a. Apabila nilai sig. $\leq 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima
- b. Apabila nilai sig. $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak

Adapun langkah-langkah melakukan analisis ANCOVA pada SPSS adalah sebagai berikut:

- a. Pada menu Toolbar SPSS dipilih *Analyze*, kemudian dipilih *General Linear Model – Univariate*;
- b. Memasukkan variabel Y pada posisi *Dependent Variabel*;
- c. Memasukkan variabel modep pembelajaran pada *Fixed Factor (s)*;
- d. Memasukkan variabel kovariat, yaitu *Pretest* pada posisi *Covariates (S)*;
- e. Pada model : dipilih *Full Factorial*. Kemudian di-klik *Continue*;
- f. Pada option : dipilih *Descriptive statistics, estimates of effect size*, dan *Parameter Estimates*. Klik *Continue*;
- g. Kemudian dipilih OK.

Tabel 23. Interpretasi *Effect Size* dengan ANCOVA

<i>Interval Partial Eta Square</i>	Kategori
0,00 - 0,199	Sangat Rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Tinggi
0,80 - 1,000	Sangat Tinggi

(Cohen., 1996)

3.9.5. Uji Hipotesis

1. Uji *Independent Sample T-Test*

Uji *Independent Sample T-Test* digunakan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok sampel sebelum dan setelah perlakuan, dilakukan uji *Independents Sample T-Test*. Hipotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada perbedaan keterampilan berpikir kreatif peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_1 : Terdapat perbedaan keterampilan berpikir kreatif peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_0 : Tidak ada perbedaan *Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_1 : Terdapat perbedaan *Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

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

2. Uji Manova

Pada penelitian ini untuk mengetahui ada atau tidak adanya perbedaan keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* antara kedua kelompok sampel sebelum dan sesudah diberikan perlakuan secara signifikan maka dilakukan uji manova. Hipotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada perbedaan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

H_1 : Terdapat perbedaan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik antara kelas yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan kelas konvensional pada materi energi alternatif.

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

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan LKPD digital menghasilkan skor keterlaksanaan pada indikator ketarampilan dan *sustainability literacy* sebesar 83,91% dan 85,16% , yang dikategorikan sangat baik. Hal Ini menunjukkan bahwa peserta didik dapat menyelesaikan LKPD dengan baik. Dari nilai *pretest* dan *posttest*, diperoleh *N-Gain* sebesar 0,53 untuk kelas eksperimen dan 0,29 untuk kelas kontrol, yang menunjukkan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kreatif peserta didik di kelas eksperimen lebih signifikan dibandingkan dengan kelas kontrol. Selain itu, hasil uji *independent sample t-test* menunjukkan nilai signifikansi 0,01, yang menunjukkan adanya perbedaan rata-rata hasil belajar keterampilan berpikir kreatif antara peserta didik yang menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dan mereka yang menggunakan LKPD konvensional pada materi energi alternatif. Nilai *sig. effect size* ANCOVA sebesar 0,000 dan nilai *Partial Eta Squared* sebesar 0,637 menunjukkan kategori sedang. Hal ini menegaskan bahwa penerapan LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu efektif dan berpengaruh dalam meningkatkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik SMA pada energi alternatif
2. Hasil analisis data diperoleh hasil *N-Gain* pada kelas eksperimen sebesar 0,49 dan pada kelas kontrol sebesar 0,14 , yang berarti peningkatan *sustainability*

literacy peserta didik pada kelas eksperimen lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Kemudian berdasarkan uji *independent sample t-test* nilai signifikansi hasil belajar peserta didik sebesar 0,00 yang artinya terdapat perbedaan *sustainability literacy* peserta didik setelah menggunakan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dengan peserta didik yang menggunakan LKPD konvensional pada energi alternatif. Serta, di dukung dari nilai yang diinterpretasikan dalam *sig. effect size* ANCOVA sebesar 0,000 dan nilai *Partial Eta Squared* sebesar 0,548 menunjukkan kategori sedang. Hal ini menegaskan bahwa penerapan LKPD berbasis *project* pengolahan limbah serbuk kayu efektif dan berpengaruh dalam meningkatkan *sustainability literacy* peserta didik SMA pada energi alternatif.

3. Hasil analisis data diperoleh hasil *multivariate test* yang memperlihatkan empat hasil tes berupa *Pillai's Trace*, *Wilks' Lamda*, *Hotelling's Trace*, dan *Roy's Largest Root*. Hasil dari setiap tes yang dilakukan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan pada setiap LKPD dan model pembelajaran terhadap keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik. Selanjutnya, nilai *sig* pada setiap baris LKPD, menunjukkan nilai yang lebih kecil dari 0,05 hal ini mengindikasikan variabel LKPD berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kreatif dan *sustainability literacy* peserta didik.

5.2. Saran

Penelitian yang telah dilaksanakan memberikan fakta-fakta mengenai keterampilan berpikir kreatif dan *Sustainability Literacy* pada peserta didik dengan energi alternatif di SMAN 1 Gadingrejo. Namun dari hasil tersebut dan dari segi penelitian, dapat dikatakan masih terdapat hal-hal yang dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya, maka peneliti memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Diharapkan para pendidik di sekolah dapat mengimplementasikan LKPD berbasis *Project* pengolahan limbah serbuk kayu dalam pengajaran fisika, sebagai salah satu langkah untuk mencapai tujuan pembelajaran fisika.
2. Peneliti lain diharapkan dapat melakukan penelitian lebih lanjut mengenai model pembelajaran lainnya yang didukung oleh LKPD berbasis *Project* dalam mata pelajaran fisika dengan variasi jenjang pendidikan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- 'Adiilah, I. I., & Haryanti, Y. D. (2023). Pengaruh Model Problem Based Learning Terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa pada Pembelajaran IPA. *Papanda Journal of Mathematics and Science Research*, 2(1), 49–56.
- Abdurrahman, Ariyani, F., Achmad, A., & Nurulsari, N. (2019). Designing an Inquiry-based STEM Learning strategy as a Powerful Alternative Solution to Enhance Students ' 21 st -century Skills : A Preliminary Research. *Journal of Physics: Conference Series*, 1155(1), 1–12.
- Adinda, Mulia, S., Irfan, & Gusmaneli... (2024). Penerapan Strategi Pembelajaran Scaffolding Dalam Membentuk Kemandirian Peserta Didik. *Jurnal Bima: Pusat Publikasi Ilmu Pendidikan Bahasa Dan Sastra*, 2(2), 34–41.
- Alberida, H., Lufri, Festiyed, & Barlian, E. (2019). Enhancing student 's science process skills through problem solving model: An effectiveness study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1317(1).
- Ali, H. F., Khakim, M., Saputra, P. P. S., Rahim, A. R., Widiharti, W., & Sukaris, S. (2024). Sosialisasi Produksi Briket Arang Dari Limbah Kayu : Sumber Bahan Bakar Alternatif Yang Berkelanjutan. *DedikasiMU : Journal of Community Service*, 6(1), 19.
- Anggraini, D., Abdurrahman, A., & Herlina, K. (2023). Development of Learning Program Based on Multiple Representations Integrated with PjBL-STEM to Foster Students' *Sustainability Literacy*. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (JPFK)*, 8(2), 253.
- Annisa Wudda, A., Hufri, H., Gusnedi, G., & Satria Dewi, W. (2024). Validasi E-LKPD Interaktif Berbasis Model Pembelajaran Contextual Teaching and Learning pada Materi Hukum Termodinamika. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(1), 7543–7552.
- Aravindan, M., & Praveen Kumar, G. (2023). Hydrogen towards sustainable transition: A review of production, economic, environmental impact and scaling factors. *Results in Engineering*, 20(August), 101456.

- Arikunto, S. (2011). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Bumi Aksara Jakarta.
- Ayu, M., Manna Aghniya, S., Arnelia Nofri, B., & Indriasari, R. (2023). Penerapan *Project-Based Learning* pada Topik Pengelolaan Sampah untuk Meningkatkan *Sustainability Literacy* Siswa Terdampak Gempa Bumi Application of *Project-Based Learning* on the Topic of Waste Management to Increase *Sustainability Literacy* for Students Af. *Journal UPI EDUFORTECH*, 8(1), 61–70.
- Azzaroiha, C., Redhana, I. W., & Suma, K. (2025). The Effect of Scaffolding Strategies on Learning Outcomes in Science Learning: A Systematic Literature Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(1), 45–55.
- Diana, L. R. (2010). *Integrated STEM education through game-based learning*.
- Dianna, I., Johnson, M. H., & Lloyd-Fox, S. (2021). Infant social interactions and brain development: A systematic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 130, 448–469.
- Dwiyati, S. T., Kholil, A., & Widyarma, F. (2017). Pengaruh Penambahan Karbon Pada Karakteristik Kampas Rem Komposit Serbuk Kayu. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 4(2), 108–114.
- Faijah, Fadilah, R., & Nurmila. (2020). Perbandingan Tepung Tapioka dan Sagu pada Pembuatan Briket Kulit Buah Nipah (*Nypafruticans*). *Jurnal PEndidikan Teknologi Pertanian*, 6(2), 1–9.
- Gusti, D. A., & Ratnawulan, R. (2021). Efektivitas LKPD IPA Terpadu Tema Energi dalam Kehidupan Dengan PBL Terintegrasi Pembelajaran Abad 21 untuk Meningkatkan Sikap Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 7(1), 77–84.
- Hafni, R. N., Herman, T., Nurlaelah, E., & Mustikasari, L. (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*, 4(1521), 0–7.
- Hanandito, L., & Sulthon, W. (2012). Pembuatan Briket Arang Tempurung Kelapa Dari Sisa Bahan Bakar Pengasapan Ikan Kelurahan Bandarharjo Semarang. *Teknik Kimia*, 2(1), 1–9.
- Hera Erisa, Agnes Herlina Dwi Hadiyanti, & Albertus Saptoro. (2021). Model *Project Based Learning* Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif

- Dan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 12(01), 1–11.
- Husein, S., Herayanti, L., & Gunawan. (2019). Pengaruh Penggunaan Multimedia Interaktif Terhadap Keaktifan Belajar Siswa. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 21(2), 117–127.
- Irshad, S., Maan, M. F., Batoool, H., & Hanif, A. (2021). Vygotsky's Zone of Proximal Development (ZPD): An Evaluative Tool for Language Learning and Social Development in Early Childhood Education. *Multicultural Education*, 7(6), 234–242.
- Kampylis, P., & Berki, E. (2014). Nurturing creative thinking by Panagiotis Kampylis and Eleni Berki. *International Academy of Education (IAE)*, 1–28.
- Kim, S. H., Cohen, A. S., Alagoz, C., & Kim, S. (2007). DIF detection and effect size measures for polytomously scored items. *Journal of Educational Measurement*, 44(2), 93–116.
- Labobar, J., & Kapojos, S. (2023). Membangun Kesadaran Lingkungan: Implementasi Pendidikan Lingkungan Hidup di SMP Negeri Distrik Sentani. *Civic Education and Social Science Journal (CESSJ)*, 5(2), 94–109.
- Lee, C.-D. (2014). Worksheet Usage, Reading Achievement, Classes' Lack of Readiness, and Science Achievement: A Cross-Country Comparison. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 2(2), 96–106.
- Logayah, D. S., Rahmawati, R. P., Hindami, D. Z., & Mustikasari, B. R. (2023). Krisis Energi Uni Eropa: Tantangan dan Peluang dalam Menghadapi Pasokan Energi yang Terbatas. *Hasanuddin Journal of International Affairs*, 3(2), 102–110.
- Mahesa, A., Aghniya, S. M., Nofri, B. A., & Indriasari, R. (2025). Analisis Literasi Keberlanjutan Peserta Didik Fase E SMA Negeri 2 Padang pada Materi Keanekaragaman Hayati. *Jurnal Jendela Pendidikan*, 5(01), 134–143.
- Malik, U. (2020). Alternatif Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu Sebagai Arang Briket. *Jurnal APTEK*, 5(1), 63–70.
- Masyuroh, A., & Rahmawati, I. (2022). Pembuatan Briket Arang Dari Serbuk Kayu Sebagai Sumber Energi Alternatif. *ABDIKARYA: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 95–103.
- Montessori, V. E., Murwaningsih, T., & Susilowati, T. (2023). Implementasi keterampilan abad 21 (6c) dalam pembelajaran daring pada mata kuliah

- Simulasi Bisnis. *JIKAP (Jurnal Informasi Dan Komunikasi Administrasi Perkantoran)*, 7(1), 65.
- Muhibbin, & Hidayatullah, M. A. (2020). Implementasi Teori Belajar Konstruktivisme Vygotsky Pada Mata Pelajaran Pai Di SMA Sains Qur' An Yogyakarta. *Belajea; Jurnal Pendidikan Islam*, 5(1), 113.
- Muslihasari, A., Susilo, H., & Ibrohim, I. (2024). The Creative Thinking Skills Profile of Primary Education's Perspective Teacher. *Sekolah Dasar: Kajian Teori Dan Praktik Pendidikan*, 33(1), 82–89.
- Ningsih, A., & Hajar, I. (2019). Analisis kualitas briket arang tempurung kelapa dengan bahan perekat tepung kanji dan tepung sagu sebagai bahan bakar alternatif. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 7(2), 101–110.
- Nugroho, O. F., Permanasari, A., & Firman, H. (2019). The movement of stem education in Indonesia: Science teachers' perspectives. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(3), 417–425.
- Oktaviani, C., Nurmasiyah, N., & Reza, M. (2022). Peningkatan Kualifikasi Guru IPA dalam Penyusunan LKPD Berbasis *Project Based Learning*. *Abdi: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(2), 465–471.
- Omanda, N., Harahap, F., & Wau, Y. (2023). Development of Student Worksheets Based *Project Based Learning* to Improve High-Level Thinking Skills (Hots) on Magnetic Material. *Randwick International of Education and Linguistics Science Journal*, 4(3), 752–757.
- Prastowo, A. (2011). *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*.
- Purnama, R. R., Chumaidi, A., & Saleh, A. (2013). Pemanfaatan Limbah Cair CPO Sebagai Perekat pada Pembuatan Briket Dari Arang Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(3), 43–53.
- Purnawingsih, E., Sari, A. M., Yuliati, L., Masjkur, K., Kurniawan, B. R., & Zahiri, M. A. (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), 1–8.
- Puspitasari, E., Putra, P. D. A., & Handayani, R. D. (2021). Pengembangan Buku Ajar Fisika Berbasis Science , Technology , Engineering , and Mathematics (STEM) pada Pokok Bahasan Suhu dan Kalor di SMA. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika (JLPF)*, 2(1), 44–52.

- Qureshi, S. M. Q. (2020). Learning by sustainable living to improve *Sustainability Literacy*. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(1), 161–178.
- Rais, M. (2010). Model *Project Based-Learning* Sebagai Upaya Meningkatkan Prestasi Akademik Mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Dan Pengajaran*, 43(3), 246–252.
- Ridha, M. R., Zuhdi, M., & Ayub, S. (2022). Pengembangan Perangkat Pembelajaran PjBL berbasis STEM dalam Meningkatkan Kreativitas Fisika Peserta Didik. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 7(1), 223–228.
- Riyadi, T., Zenabia, T., & Maradina, J. (2025). Literasi Sustainability : Gerakan dan Promosi Keberlanjutan pada SMAS 1926 Pamulang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 2(12), 5819–5827.
- Saefullah, A. (2022). Inovasi Desain Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu yang Digunakan untuk Meningkatkan Nilai Estetis dan Ekonomis pada Masyarakat. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 17(1), 302.
- Saraswati, P. M. S., & Agustika, G. N. S. (2020). Kemampuan Berpikir Tingkat Tinggi Dalam Menyelesaikan Soal HOTS Mata Pelajaran Matematika. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 4(2), 258–269.
- Sari, P. N., & Aminah, S. (2020). Pemanfaatan Serbuk Gergaji sebagai Bahan Baku Briket. *Jurnal Media Eksakta*, 21(1), 1–9.
- Shobar, Sribudiani, E., & Somadona, S. (2020). Karakteristik Briket Arang dari Limbah Kulit Buah Pinang dengan Berbagai Komposisi Jenis Perekat (Characteristics of Charcoal Briquette from the Skin Waste of Areca catechu Fruit with Various Compositions of Adhesive Types). *Jurnal Sylva Lestari*, 8(2), 189–196.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kualitatif dan R and D*. Bandung: Alfabeta
- Supriatna, A., Kuswandi, S., & Sopyan, Y. (2020). Upaya Meningkatkan Hasil Belajar Ipa Materi Energi Alternatif Melalui Penerapan Model *Project Based Learning*. *Jurnal Tahsinia*, 2(1), 12–25.
- Syafila, A. E., Madura, U. T., & Inda, P. T. (2024). *Analisis eksplorasi konsep pendidikan konstruktivis dalam pembelajaran berbasis proyek*. 2(12).
- Ulina, S., Hasan, S., Warman, E., & Nugraha, Y. T. (2022). Analisis Potensi Energi Baru dan Terbarukan Di Sumatera Utara Sampai Tahun 2028 Menggunakan Software LEAP. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi)* :

Jurnal Teknik Elektro, 5(1), 4–8.

Vygotsky, L. S. (1934). *Thinking and Speech*. Plenum Press.

Wallach, M. A., & Torrance, E. P. (1968). Torrance Tests of Creative Thinking: Norms Technical Manual. *American Educational Research Journal*, 5(2), 1187.

Wardani, I. R. W., Putri Zuani, M. I., & Kholis, N. (2023). Teori Belajar Perkembangan Kognitiv Lev Vygotsky dan Implikasinya dalam Pembelajaran. *DIMAR: Jurnal Pendidikan Islam*, 4(2), 332–346.

Wena, M. (2009). *Strategi Pembelajaran Inovatif Kontemporer*. Bumi Aksara.

Wulandari, N. (2021). Analisis Kreativits Guru Kelas Dalam Menyusun Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Mata Pelajaran Matematika Masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Perseda : Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 4(2), 120–127.