

**PENGEMBANGAN LKPD ESD BERBASIS *UNDERSTANDING BY DESIGN*
BERBANTUAN *MICRO: BIT* UNTUK MENINGKATKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KOMPUTASI
DAN *CREATIVE PROBLEM SOLVING***

(Tesis)

Oleh

**AHMAD NAUFAL UMAM
NPM 2223022006**



**MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN LKPD ESD BERBASIS *UNDERSTANDING BY DESIGN* BERBANTUAN *MICRO: BIT* UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KOMPUTASI DAN *CREATIVE PROBLEM SOLVING*

Oleh

AHMAD NAUFAL UMAM

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis *Understanding by Design* (UbD) dengan topik perubahan iklim dan pemanasan global sebagai bagian dari *Education for Sustainable Development* (ESD) dan menganalisis dampaknya terhadap peningkatan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*. Model pengembangan yang digunakan melibatkan tahap-tahap desain instruksional 4D, yang meliputi tahap pendefinisian, perancangan, pengembangan, dan penyebaran LKPD. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa LKPD yang dikembangkan memiliki kevalidan yang sangat tinggi pada aspek konten, konstruk, bahasa, dan desain. Dalam hal kepraktisan, LKPD yang dikembangkan juga memiliki keterbacaan, kemenarikan, dan keterlaksanaan yang tinggi. Selain itu, LKPD yang telah dikembangkan juga telah terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*. Temuan ini menunjukkan bahwa pengembangan dan penerapan LKPD yang berfokus pada tujuan pembangunan berkelanjutan dapat efektif dilakukan dengan memasukan aktivitas-aktivitas pembelajaran yang melatih keterampilan berpikir peserta didik, seperti aktivitas pembuatan sensor bencana alam dengan bantuan *micro:bit*. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan perangkat pembelajaran yang berorientasi pada pembangunan berkelanjutan yang sejalan dengan prinsip penerapan kurikulum nasional.

Kata Kunci: *Creative Problem Solving*, Keterampilan Berpikir Komputasi, *Micro:bit*, *Understanding by Design*

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF UNDERSTANDING BY DESIGN-BASED ESD-WORKSHEET ASSISTED BY MICRO: BIT TO ENHANCE COMPUTATIONAL THINKING AND CREATIVE PROBLEM SOLVING SKILLS

By

AHMAD NAUFAL UMAM

This research aims to develop Understanding by Design (*UbD*)-based Student Worksheets on the topic of climate change and global warming as part of Education for Sustainable Development (ESD) and analyze its impact on enhancing computational thinking and creative problem-solving skills. The development model utilized involves the 4D instructional design stages, which include define, design, develop, and disseminate of the worksheets. The research findings indicated that the worksheets exhibited high validity in terms of content, construct, language, and design. In terms of practicality, the worksheets also demonstrated high readability, attractiveness, and feasibility. Furthermore, the worksheets have been proven effective in enhancing computational thinking and creative problem-solving skills. These findings suggested that the development and implementation of worksheets focused on sustainable development goals can be effectively achieved by incorporating learning activities that train students' thinking skills, such as the activity of creating natural disaster sensors with the assistance of Micro: bit. This research provided a significant contribution to the development of learning media oriented towards sustainable development in alignment with the principles of national curriculum implementation.

Keywords: Computational thinking Skill, Creative Problem Solving, Micro:bit, Understanding by Design,

**PENGEMBANGAN LKPD ESD BERBASIS *UNDERSTANDING BY DESIGN*
BERBANTUAN *MICRO: BIT* UNTUK MENINGKATKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KOMPUTASI
DAN *CREATIVE PROBLEM SOLVING***

Oleh

AHMAD NAUFAL UMAM

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA

Pada

**Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan**



**MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Tesis : **PENGEMBANGAN LKPD ESD
BERBASIS *UNDERSTANDING BY DESIGN*
BERBANTUAN *MICRO: BIT* UNTUK
MENINGKATKAN KETERAMPILAN
BERPIKIR KOMPUTASI DAN *CREATIVE
PROBLEM SOLVING***

Nama Mahasiswa : **Ahmad Naufal Umam**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2223022006

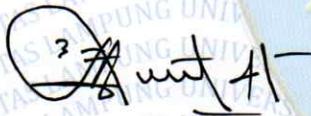
Program Studi : Magister Pendidikan Fisika

Jurusan : Magister Pendidikan MIPA

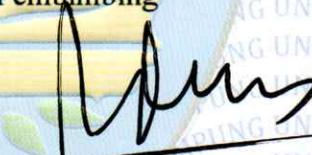
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan



MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing



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



Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si.
NIP. 19681210 1992303 1 002

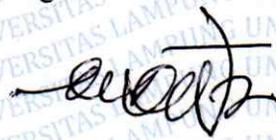
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Pendidikan MIPA

Ketua Program Studi
Magister Pendidikan Fisika



Prof. Dr. Undang Rosidin, M.Pd.
NIP. 19600301 198503 1 003



Dr. I Wayan Distrik, M.Si.
NIP. 196312151991021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Kartini Herlina, M.Si.

Sekretaris : Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si.

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

Dr. Viyanti, M.Pd.



Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Prof. Dr. Sunyono, M.Si.

NIP 19651230 199111 1 001

3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: **22 Maret 2024**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Naufal Umam
NPM : 2223022006
Program Studi : Magister Pendidikan Fisika
Jurusan : Pendidikan MIPA
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang telah diajukan untuk memperoleh gelar Magister di suatu perguruan tinggi dan sepengetahuan 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 daftar pustaka.



Pangkalpinang, 24 Februari 2024

Ahmad Naufal Umam
NPM 2223022006

RIWAYAT HIDUP

Ahmad Naufal Umam merupakan anak ke-4 dari 7 bersaudara dari pasangan (alm) Bapak Sariman bin Umen dan Ibu Kunah. Lahir dan menghabiskan masa remaja di Pandeglang, Banten. Penulis menikah dengan Rita Puspitasari dan dikaruniai 2 orang anak yaitu Azalia N. Umam dan Ahmad Dipta N. Umam.

Penulis menyelesaikan Pendidikan Strata 1 di Universitas Lampung lalu mendapatkan kesempatan untuk mengabdikan di Kupang, Nusa Tenggara Timur melalui program Sarjana Mendidik di Daerah 3T (Terdepan, Terluar, dan Tertinggal) selama satu tahun. Penulis juga mengasah kompetensi sebagai guru melalui PPG Prajabatan di Universitas Pendidikan Indonesia.

Awal karir sebagai guru dimulai semenjak tahun 2015 sebagai guru fisika dan *Homeroom Teacher* di SMA Global Madani. Dan pada tahun 2020, diberi amanah sebagai Kepala Unit Pengembangan dan Inovasi Pembelajaran di Yayasan Pendidikan Global Madani. Saat ini penulis terdaftar sebagai guru fisika dan wakil kepala sekolah bidang kurikulum di SMA IT Daarul ‘Ilmi.

Penulis terlibat aktif sebagai pengurus inti MGMP Fisika Kota Bandar Lampung dan Tim Penjamin Mutu Jaringan Sekolah Islam Terpadu (JSIT) Wilayah Lampung. Penulis juga tercatat sebagai Sahabat Rumah Belajar Provinsi Lampung Tahun 2019, Alumni STELR-STEM *Training for Asia-Pacific Region* Tahun 2019, *Trainer of Microsoft Innovative Educator* Tahun 2020, Finalis Lomba Inovasi Guru dan Rumah Pintar (LINKAR) *Astra International* Tahun 2020, serta penerima hibah penelitian dari *SEAMEO QITEP In Science* Tahun 2021.

MOTTO

“Faidza ‘azzamta fatawakkal ‘alallah”

“Puncak tertinggi karir seseorang tidak dilihat dari seberapa tinggi jabatan, tetapi dilihat dari seberapa luas kebermanfaatan.”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji dan syukur bagi Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis dengan judul “Pengembangan LKPD ESD Berbasis *Understanding by Design* Berbantuan *Micro: bit* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Komputasi dan *Creative Problem Solving*.”

Pada kesempatan kali ini tak lupa penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan tesis ini.

1. Mamah dan alm Bapak. Terima kasih telah menjadi orangtua terbaik di seluruh dunia, yang telah membesarkan dan mendidik kami dengan kebersamaan yang sederhana, mimpi-mimpi besar, serta cinta dan tekad yang begitu kuat. Semoga Allah kumpulkan kita semua di surga-Nya kelak, karena kami yakin waktu di dunia tidak cukup untuk membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada kami.
2. Neng Rita, separuh nafasnya Aa, terima kasih sudah menjadi rumah yang nyaman untuk pulang dan *navigator* yang selalu bisa diandalkan.
3. Tete Aza dan Adek Ata, dua cahayanya Abah, terima kasih sudah bersabar dengan kesibukan Abah serta terima kasih pula atas perhatian-perhatian kecil yang kalian berikan sehingga Abah bisa tetap semangat menyelesaikan studi.
4. A Fathur dan keluarga, A Fahri dan keluarga, Teh Mila dan keluarga, Ipan dan keluarga, Hilda, dan Reza, terima kasih telah menjadi *support system* yang baik. Jauh di mata, dekat di dalam doa.
5. Umi Rita & Abi Abe, terima kasih atas segala kebaikan yang diberikan kepada kami. Semoga Allah membalas dengan sebaik-baiknya balasan.
6. Tim kesebelasan MPFis 2022 (Mas Erik, Ghani, Mba Sulis, Mba Arlik, Sopi, Ayu, Mira, Kharen, Ida, Kori). Terima kasih atas kekompakan dan kebaikan kalian semua.

7. Pak Arief, Bu Yuni, dan rekan-rekan guru serta staf SMA IT Daarul ‘Ilmi. Terima kasih atas doa dan dukungan yang diberikan sehingga penulis bisa menyelesaikan studi. Tak lupa jajaran KKS SIT Daarul Ilmi, terima kasih atas dukungan yang diberikan.
8. Anak-anak DI, terutama kelas X Rasuna Said dan Fatahillah, terima kasih atas kerjasama yang diberikan sehingga penelitian ini bisa terlaksana dengan optimal.

Semoga segala bentuk bantuan, dukungan, saran dan bimbingan yang diberikan kepada penulis mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT. Mudah-mudahan tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 24 Febuari 2024

Ahmad Naufal Umam

SANWACANA

Alhamdulillah, segala puji dan syukur bagi Allah SWT, peneliti dapat menyelesaikan penulisan Tesis dengan judul “Pengembangan LKPD ESD Berbasis *Understanding by Design* Berbantuan *Micro:bit* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Komputasi dan *Creative Problem Solving*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada program Pascasarjana Pendidikan Fisika di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Sunyono, M.Si., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan.
4. Bapak Prof. Dr. Undang Rosidin, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan.
5. Bapak Dr. I Wayan Distrik, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung
6. Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku Pembimbing Akademik dan Pembimbing I yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, mengarahkan, memberikan saran dan kritik kepada peneliti selama penyusunan tesis ini.
7. Bapak Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, mengarahkan, memberikan saran dan kritik kepada peneliti selama penyusunan tesis ini.

8. Bapak Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si., selaku Pembahas I yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, mengarahkan, memberikan saran dan kritik kepada peneliti selama penyusunan tesis ini.
9. Ibu Dr. Viyanti, M.Pd., selaku Pembahas II yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, mengarahkan, memberikan saran dan kritik kepada peneliti selama penyusunan tesis ini.
10. Seluruh dosen, staff, dan karyawan FKIP Universitas Lampung, khususnya Program Studi Magister Pendidikan Fisika yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pemahaman, dan pelayanan selama proses perkuliahan.

Semoga segala bentuk bantuan, dukungan, saran dan bimbingan yang diberikan kepada peneliti mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT. Mudah-mudahan tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 24 Febuari 2024

Ahmad Naufal Umam

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Ruang lingkup Penelitian	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Kajian Teori.....	10
2.1.1. Teori belajar konektivisme	10
2.1.2. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)	12
2.1.3. <i>Understanding by Design</i> (UbD).....	14
2.1.4. Model Pembelajaran <i>Learning Cycle Tipe 5E</i>	18
2.1.5. Keterampilan Berpikir Komputasi	22
2.1.6. <i>Creative Problem Solving</i>	26
2.1.7. <i>Education for Sustainable Development</i> (ESD).....	30
2.1.8. Bencana Alam Karena Perubahan Iklim	32
2.1.9. <i>Micro:bit</i> dalam Pembelajaran Fisika	33
2.2. Penelitian Relevan	36
2.3. Kualitas Produk Pembelajaran	38
2.4. Kerangka Pemikiran	40
III. METODE PENELITIAN	42

3.1	Desain Penelitian Pengembangan.....	42
3.2	Prosedur Pengembangan Produk.....	43
3.3	Instrumen Penelitian.....	51
3.4	Teknik Analisis Data.....	54
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	64
4.1	Hasil.....	64
4.2	Pembahasan.....	83
4.2.1.	Validitas Produk.....	84
4.2.2.	Praktikalitas Produk.....	87
4.2.3.	Efektifitas Produk.....	90
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	111
5.1	Kesimpulan.....	112
5.2	Saran.....	112
	DAFTAR PUSTAKA.....	114
	LAMPIRAN.....	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan Kerangka Pemikiran	41
2. Model Pengembangan 4D (Thiagarajan, 1974)	42
3. Alur Tahapan Penelitian.....	44
4. Alur Uji Efektivitas	50
5. Bagian-bagian LKPD ESD	69
6. Dokumentasi Keikutsertaan Peneliti sebagai <i>Presenter</i>	83
7. Rekapitulasi Persentase Hasil Uji Validasi LKPD	87
8. Rekapitulasi Persentase Hasil Uji Kepraktisan LKPD.....	90
9. Rekapitulasi Nilai N-Gain Keterampilan Berpikir Komputasi	92
10. Rekapitulasi Nilai N-Gain Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i>	93
11. Peserta Didik Melaksanakan tahap <i>Engage</i> dan <i>Explore</i>	96
12. Sampel Jawaban Peserta Didik pada Tahap <i>Explore</i>	98
13. Peserta Didik Melaksanakan tahap <i>Explain</i>	99
14. Peserta Didik Melaksanakan tahap <i>Elaborate</i>	100
15. Sampel Hasil Gambar Alur Kerja Sensor oleh Peserta Didik.....	101
16. Peserta Didik Melakukan Studi Literasi Pembuatan Sensor.....	102
17. Rancangan Sensor Bencana Alam yang Akan Dibuat.	103
18. Guru memperagakan langkah-langkah penggunaan <i>Micro:bit</i>	104
19. Peserta Didik Melakukan Aktivitas Komputasi dengan <i>Micro: bit</i>	105
20. Sensor Bencana Alam yang Berhasil Dibuat	106
21. Peserta Didik Melakukan Presentasi Pembuatan Sensor	107

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Elemen Kerangka WHERETO dalam Pendekatan UbD	16
2. Tahapan <i>Learning Cycle</i> Tipe 5E	19
3. Indikator Keterampilan Berpikir Komputasi	23
4. Indikator keterampilan <i>creative problem solving</i>	27
5. Analisis Capaian Pembelajaran dan Tujuan Pembelajaran	31
6. Penelitian yang Relevan	36
7. Prosedur Umum Model Pengembangan 4D	43
8. Kisi-kisi Angket Analisis Kebutuhan	45
9. Rancangan Konten Pembelajaran dalam LKPD	47
10. <i>Komponen Uji Validitas</i>	48
11. Skala <i>Likert</i> pada skala Validasi dan Kepraktisan	51
12. Indikator Soal Tes Keterampilan Berpikir Komputasi	52
13. Indikator Soal Tes Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i>	53
14. Kriteria Validitas LKPD	56
15. Kategori Tingkat Kepraktisan LKPD	57
16. Kriteria Kevalidan Instrumen tes	58
17. Kriteria Koefisien Korelasi	58
18. Kriteria Nilai <i>Effect Size</i>	63
19. Kriteria Nilai <i>N-Gain</i>	63
20. Rangkuman Hasil Analisis Kebutuhan	65
21. Aktivitas Pembelajaran pada LKPD	66
22. Hasil Uji Validitas Instrumen	67
23. Hasil Validitas Konten LKPD	71
24. Hasil Validitas Konstruksi LKPD	71
25. Hasil Validitas Bahasa LKPD	72
26. Hasil Validitas Desain LKPD	72
27. Masukan/Komentar dari Validator	72
28. Hasil Uji Kepraktisan	73
29. Rekapitulasi Rata-rata Keterampilan Berpikir Komputasi untuk Tiap Indikator	75
30. Hasil Uji <i>N-Gain</i> untuk Indikator Keterampilan Berpikir Komputasi	75

31. Rekapitulasi Rata-rata Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i> untuk Tiap Indikator.....	76
32. Hasil Uji N-Gain untuk Indikator Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i> .	77
33. Hasil Uji Normalitas Keterampilan Berpikir Komputasi.....	77
34. Hasil Uji Normalitas Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i>	78
35. Hasil Uji Beda Rata-rata Keterampilan Berpikir Komputasi.....	79
36. Hasil Uji Beda Rata-rata Keterampilan <i>creative problem solving</i>	80
37. Hasil Uji ANCOVA Keterampilan Berpikir Komputasi	81
38. Hasil Uji ANCOVA Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i>	82
39. Rekapitulasi Penyebaran LKPD ESD	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alur Tujuan Pembelajaran	128
2. Modul Ajar	131
3. Storyboard Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD).....	138
4. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD).....	145
5. Kisi-kisi Soal Keterampilan Berpikir Komputasi	173
6. Kisi-kisi Soal Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i>	184
7. Soal Keterampilan Berpikir <i>Komputasi & Creative Problem Solving</i>	193
8. Angket Analisis Kebutuhan	204
9. Lembar Validasi LKPD.....	211
10. Lembar Instrumen Kemenarikan dan Keterbacaan.....	225
11. Lembar Instrumen Keterlaksanaan	229
12. Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen	233
13. Hasil Uji Validitas LKPD	234
14. Hasil Uji Kemenarikan.....	235
15. Hasil Uji Keterbacaan	237
16. Hasil Uji Keterlaksanaan.....	239
17. Hasil Pretest dan Postest Keterampilan Berpikir Komputasi Kelas Eksperimen	240
18. Hasil <i>Pretest</i> dan <i>Postest</i> Keterampilan Berpikir Komputasi Kelas Kontrol	242
19. Hasil <i>Pretest</i> dan <i>Postest</i> Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i> Kelas Eksperimen	244
20. Hasil <i>Pretest</i> dan <i>Postest</i> Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i> Kelas Kontrol	246
21. Hasil Uji Normalitas	248
22. Hasil Uji <i>Independent Sample T Test</i>	249
23. Hasil Hasil Uji ANCOVA Keterampilan Berpikir Komputasi	250
24. Hasil Uji ANCOVA Keterampilan <i>Creative Problem Solving</i>	251
25. Dokumentasi Pembelajaran.....	252
26. Surat Izin Penelitian	256
27. Surat Balasan Izin Penelitian	257

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendidikan untuk pembangunan yang berkelanjutan atau *Education for Sustainable Development*, disingkat ESD, merupakan pendidikan yang berorientasi pada upaya menjaga dan memperbaiki lingkungan alam dan sosial secara berkesinambungan (Del Cerro Velázquez & Lozano Rivas, 2020; Jeong *et al.*, 2020). Berbeda dengan pendidikan umumnya yang hanya dipahami sebagai sarana untuk mendidik masyarakat mampu menyelesaikan masalah, mendapatkan kesejahteraan, serta status sosial di masyarakat, maka ESD bertujuan membangun kapasitas dan komitmen dalam membangun masyarakat yang sustainable (berkelanjutan), dimana dalam proses akuisisinya berdampak pada keputusan individu maupun kelompok yang mempertimbangkan keseimbangan ekologis alam sehingga kualitas kehidupan manusia semakin meningkat dengan dibarengi oleh lingkungan yang ramah dan nyaman (Agbedahin, 2019; Sinakou *et al.*, 2019). ESD ini memiliki peranan penting dalam membangun kesadaran dan sikap akan pentingnya aktivitas ramah, peduli, dan pemberdayaan lingkungan yang tidak dapat ditumbuhkan dalam waktu singkat, namun harus melalui proses Pendidikan dan pembelajaran yang mampu menstimulus daya nalar dan jiwa keberlanjutan siswa (Chaikovska & Levchyk, 2022; Nguyen *et al.*, 2020).

ESD juga merupakan program pendidikan yang tepat untuk mendidik manusia sejak dini guna mengurangi ketergantungan terhadap lingkungan alam dan sosial, namun selalu berupaya menemukan inovasi untuk mengurangi eksploitasi alam secara berlebihan, sehingga mereka turut berpartisipasi, aktif, dan memiliki pengetahuan akan pentingnya menjaga keseimbangan alam, dan menjaga

harmonisasi sosial dan ekonomi masyarakat yang lebih beradab (Nousheen *et al.*, 2020; Wilhelm *et al.*, 2019). Dengan demikian diharapkan, ESD mampu menyadarkan masyarakat di semua level, terutama generasi muda dan pelajar betapa kompleksnya persoalan lingkungan dan alam semesta dengan kenyataan sumber daya alam yang semakin menipis, ancaman dampak perubahan iklim, kerusakan ekosistem, bencana alam dan non alam, dan sumber-sumber energi berasal dari fosil yang mulai jauh berkurang. Oleh karenanya ESD diharapkan dapat mendorong peserta didik sebagai warga belajar yang berhasil, percaya diri bertanggung jawab, dan menjunjung tinggi nilai-nilai kesejahteraan dan keharmonisan dalam konteks *sustainability* (Prabawani *et al.*, 2020; Sinakou *et al.*, 2019).

Sejalan dengan itu, Kemendikbudristek, melalui Implementasi Kurikulum Merdeka, berharap bahwa pembelajaran di sekolah diharapkan dapat membantu peserta didik untuk dapat memecahkan permasalahan-permasalahan yang ada di masyarakat, terutama berkaitan dengan isu-isu global. Capaian pembelajaran yang ada di Kurikulum Merdeka disusun agar peserta didik memiliki pemahaman tentang informasi yang didapatkan di dalam pembelajaran. Peserta didik juga diharapkan dapat mengadaptasikan informasi yang diperoleh selama proses pembelajaran ke dalam lingkungan atau situasi yang berbeda. Hal ini relevan dengan tujuan dari penerapan ESD di dalam pembelajaran, yakni peserta didik diminta untuk memecahkan problem-problem yang dihadapinya dalam masyarakat menuju pembentukan masyarakat yang lebih baik (Al Mubarak, 2021). Sehingga penerapan ESD di Indonesia sesuai dalam rangka tercapainya tujuan dari Implementasi Kurikulum Merdeka.

Penerapan ESD juga bisa menumbuhkembangkan keterampilan abad 21 di dalam diri peserta didik. Keterampilan tersebut diharapkan dapat membantu peserta didik menghadapi segala tantangan yang akan peserta didik temukan di masa yang akan datang, serta membantu peserta didik di dunia kerja dan masyarakat (Kocaman, 2022). Keterampilan abad 21 tersebut meliputi *learning & inovacion skills-4C* (*critical thinking & problem solving, communication, collaboration,*

creativity), *life & career skills*, dan *information, media & technology skills* (Omelchenko, 2022)

Lebih lanjut, *information, media & technology skills* dikenal juga sebagai keterampilan literasi digital merupakan keterampilan, yang terdiri dari literasi informasi, literasi media, literasi teknologi informasi dan komunikasi (TIK), yang diperlukan oleh peserta didik untuk berkembang di dunia yang saling terhubung secara digital dan global saat ini. (Olimov & Mamurova, 2022; González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022). Keterampilan literasi digital juga berperan penting bagi peserta didik untuk mengembangkan keterampilan pemecahan masalah dengan melakukan pembiasaan dalam menjadikan peserta didik dapat memecahkan masalah yang lebih kompleks seperti cara kerja komputer dan terlibat dalam pemikiran tingkat tinggi yang diperkenalkan dengan menggunakan kata-kata yang menggambarkan atau mendefinisikan masalah (Miranda *et al.*, 2022; Yusuf *et al.*, 2022). Keterampilan ini selanjutnya disebut sebagai keterampilan berpikir komputasi (Handayani *et al.*, 2020).

Keterampilan berpikir komputasi telah membuktikan nilainya sebagai alat yang sangat berguna dalam pemecahan masalah di berbagai bidang, tidak terbatas hanya pada ilmu komputer (Batul *et al.*, 2022). Seiring dengan perkembangan teknologi, keterampilan ini semakin relevan dalam pembelajaran, terutama dalam mata pelajaran seperti biologi, fisika, dan matematika. Ketika diterapkan dalam konteks ini, keterampilan berpikir komputasi memungkinkan peserta didik untuk menghadapi masalah-masalah yang kompleks dengan pendekatan yang sistematis dan terstruktur (Handayani *et al.*, 2022), serupa dengan cara seorang ilmuwan atau insinyur menyelesaikan masalah. Misalnya dalam pembelajaran fisika, siswa dapat menggunakan simulasi komputer untuk memprediksi hasil percobaan fisika.

Sejalan dengan itu, keterampilan berpikir kreatif merupakan bagian dari proses pembelajaran untuk membantu peserta didik menjadi pembelajar sukses, individu yang percaya diri serta menjadi warga negara yang bertanggung jawab sehingga

penting dikembangkan di sekolah, agar peserta didik mampu mengembangkan kreativitasnya serta kreatif dalam memecahkan masalah (Tang *et al.*, 2021).

Keterampilan *creative problem solving* merupakan keterampilan yang sangat penting untuk memecahkan masalah dan memunculkan ide-ide baru (Runco dan Jaeger, 2019). Keterampilan ini juga dapat membantu peserta didik menghasilkan ide-ide baru dengan menggabungkan, mengubah atau menambah ide yang ada, menggunakan berbagai ide, memperbaiki, menganalisis dan mengevaluasi ide-ide dalam rangka meningkatkan dan memaksimalkan upaya kreatif (Wang *et al.*, 2020). Sehingga baik keterampilan berpikir komputasi maupun keterampilan *creative problem solving* perlu dilatih melalui pembelajaran yang memasukan permasalahan sehari-hari.

Salah satu pendekatan pembelajaran yang mendukung peserta didik untuk menggunakan pengetahuan dan keterampilan yang peserta didik dapatkan di dalam kelas ke dalam kehidupan permasalahan sehari-hari adalah *Understanding by Design* (UbD). UbD pertama kali dikenalkan oleh Wiggins & McTighe (2005), yang menyatakan bahwa pemahaman peserta didik bukanlah mengacu pada pemahaman mereka tentang informasi yang didapatkan di dalam pembelajaran. Akan tetapi, pemahaman haruslah mengacu pada kemampuan mengadaptasikan informasi yang diperoleh selama proses pembelajaran ke dalam lingkungan atau situasi yang berbeda (D'Angelo *et al.*, 2019).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Mahfudzoh (2022) menunjukkan bahwa implementasi UbD efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik. Cahyono *et al.* (2012) juga menemukan bahwa model pembelajaran yang mengintegrasikan UbD bisa meningkatkan hasil belajar dan efikasi diri peserta didik. Selain itu, penerapan UbD dalam pembelajaran juga telah terbukti dapat meningkatkan kebiasaan berpikir (Gloria *et al.*, 2020), membangkitkan motivasi internal (Al-Tonsi, 2019), serta mengembangkan empati dan rekognisi diri (Ozyurt *et al.*, 2021). Penelitian-penelitian tersebut menjadi landasan bahwa

pendekatan UbD memiliki potensi dalam meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

Sayangnya, baik penerapan pembelajaran dengan ESD maupun pembelajaran dengan pendekatan UbD belum banyak dilaksanakan oleh guru fisika di kelas. Hasil survei yang dilakukan oleh peneliti pada 52 guru fisika di beberapa Provinsi di Indonesia menunjukkan bahwa 92,3% responden sudah menerapkan isu-isu global ke dalam pembelajaran. Namun, sebagian besar responden merasa bahwa pembelajaran yang dilakukan belum optimal karena responden mengalami beberapa kendala diantaranya keterbatasan alat untuk melaksanakan pembelajaran dengan isu-isu global (58,3% responden) dan ketersediaan media pembelajaran yang mendukung pembelajaran dengan isu-isu global (30,6% responden).

Hasil survei juga menunjukkan bahwa aktivitas pembelajaran yang mendukung peningkatan keterampilan memecahkan masalah seperti berpikir komputasi dan *creative problem solving* belum banyak diterapkan di dalam kelas. Sebanyak 88,5% responden menyampaikan bahwa responden sudah memberikan bimbingan secara langsung kepada peserta didik ketika peserta didik diharapkan untuk dapat memecahkan permasalahan mereka sendiri. Hal ini tentu saja tidak memberikan ruang kepada peserta didik untuk menggunakan kemampuan berpikir untuk memecahkan masalah tersebut, sehingga pada akhirnya keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* tidak berkembang dengan baik sehingga berdampak pada kemampuan peserta didik memecahkan masalah.

Lebih lanjut, peneliti juga menemukan bahwa pelaksanaan pembelajaran fisika di kelas belum melaksanakan pendekatan pembelajaran yang berfokus pada permasalahan sehari-hari sehingga peserta didik tidak memiliki ruang untuk mengembangkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*. Sebanyak 86,5% responden menyampaikan bahwa pembelajaran yang mereka lakukan berfokus pada konten yang akan diajarkan. Sehingga pembelajaran fisika yang dilakukan belum mengaitkan konsep-konsep fisika di dalam menyelesaikan permasalahan kehidupan sehari-hari. Selain itu, pembelajaran cenderung berpusat

pada guru sehingga peserta didik tidak memiliki ruang untuk mengembangkan kemampuan mereka dalam memecahkan masalah. Sementara itu, berkaitan dengan penggunaan LKPD (Lembar Kerja Peserta Didik), sebanyak 90,4% responden terbiasa menggunakan LKPD di dalam pembelajaran fisika untuk. Selanjutnya, sebanyak 71,2% responden terbiasa menggunakan LKPD berbentuk cetak dengan alasan lebih mudah diakses karena tidak memerlukan gadget ataupun internet dalam penggunaannya.

Atas dasar kesenjangan antara kondisi ideal dan yang terjadi di lapangan, penulis melakukan penelitian dalam rangka meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* dengan mengembangkan LKPD dengan pendekatan UbD. Hal yang menjadi kebaruan dari penelitian ini adalah bahwa LKPD tersebut akan Membahas topik perubahan iklim dan pemanasan global, dengan tujuan memberikan ruang kepada peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* dengan menyelesaikan permasalahan-permasalahan sesuai dengan konteks ESD. Selain itu, LKPD yang dikembangkan juga akan memuat aktivitas berbantuan Micro:bit. Aktivitas ini diharapkan bisa memberikan penguatan pada keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* peserta didik. Berdasarkan hal tersebut, peneliti memilih topik penelitian “Pengembangan LKPD ESD Berbasis *Understanding By Design* (UbD) berbantuan Micro:bit dalam untuk meningkatkan kemampuan berpikir komputasi dan *creative problem solving*”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* yang valid untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*?

2. Bagaimana kepraktisan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* untuk melatih meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*?
3. Bagaimana keefektifan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* untuk melatih meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* yang valid untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*.
2. Mendeskripsikan kepraktisan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* yang valid untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*.
3. Mendeskripsikan keefektifan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* yang valid untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat teoritis

Manfaat teoritis penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Memberikan referensi bahan ajar yang terintegrasi dengan teknologi yang dapat menciptakan suasana pembelajaran yang lebih bermakna dan meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*.
- b. Memberikan masukan dan sumbangan pemikiran dalam upaya peningkatan kualitas proses pembelajaran fisika di sekolah yang

disesuaikan dengan kebaruan kurikulum terkini.

- c. Memberikan rujukan dan referensi pada penelitian-penelitian selanjutnya

2. Manfaat praktis

Manfaat praktis dari penelitian ini adalah.

- a. menghasilkan LKPD berbasis UbD yang memuat isu-isu global sehingga mampu menstimulus keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*.
- b. Memberikan pengarahannya agar pengajaran guru menggunakan pendekatan dan model yang membuat peserta didik dapat meningkatkan kemampuan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* mengingat adanya pengintegrasian pembelajaran dengan teknologi.
- c. Memberikan informasi terkait pengajaran yang menggunakan LKPD dapat meneruskan penelitian dengan menggunakan variabel bebas yang lain, serta memberikan ide kepada peneliti lain agar melakukan penelitian dengan pendekatan UbD dengan bantuan *Micro:bit*.

1.5 Ruang lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini sebagai berikut.

1. Jenis penelitian yang dilakukan adalah Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*) dengan model 4D (*Define, Design, Develop, & Disseminate*).
2. Produk yang dihasilkan dari penelitian pengembangan ini berupa LKPD yang berbentuk cetak pada materi perubahan iklim dan pemanasan global sesuai dengan Capaian Pembelajaran fase E Kelas X Kurikulum Merdeka.
3. Keterampilan berpikir komputasi dalam penelitian ini adalah keterampilan komputasi, yang dikenalkan oleh Wing (2006), mencakup *problem decomposition, abstraction, algorithms, automation, dan generalization*.
4. *Creative problem solving* dalam penelitian ini mengadopsi keterampilan berpikir kreatif untuk memecahkan masalah yang dikembangkan oleh Treffinger & Isaksen (2005), yang mencakup yaitu *Fact Finding, Fact*

Interpreting, Idea Finding, Idea Developing, Solution Generating, dan Solution Evaluating.

5. LKPD yang dikembangkan memuat pendekatan UbD yang dikenalkan oleh Wiggins & McTighe (2005) dengan 3 tahap yakni *Identify desire result*, *Determine acceptable evidence*, dan *plan learning experience and instruction*
6. LKPD yang dikembangkan dibelajarkan dengan menggunakan model pembelajaran Model Pembelajaran *Learning Cycle 5E* yang dikembangkan oleh Bybee (2014) dengan tahapan pembelajaran *Engagement, Exploration, Explanation, Elaboration*, dan *Evaluation*.
7. *Micro:bit* yang dimaksud adalah sebuah *microcontroller* yang akan digunakan membuat sensor bencana alam banjir, kekeringan, dan kebakaran hutan.
8. Kevalidan LKPD ditinjau dari 4 dimensi yakni validitas konten, konstruk, bahasa, dan desain. LKPD dinyatakan valid untuk digunakan jika mendapat rata-rata persentase lebih dari 61%.
9. Kepraktisan LKPD ditinjau dari 3 aspek yakni keterbacaan, kemenarikan, dan kepraktisan. LKPD dinyatakan praktis diterapkan jika mendapat rata-rata persentase lebih dari 61%
10. Kefektifan LKPD ditinjau dari hasil uji beda rata-rata dengan menggunakan *independent sample t test* pada nilai rata-rata *pretest* dan *posttest* kelas kontrol dan eksperimen. LKPD dinyatakan efektif meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* apabila terdapat perbedaan signifikan pada rata-rata peningkatan kelas eksperimen dan kelas kontrol dimana kelas eksperimen mengalami peningkatan lebih tinggi. Selain itu, LKPD dinyatakan efektif jika mendapatkan *effect size* pada rentang 0,2 sampai dengan 0,8.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Teori

2.1.1. Teori belajar konektivisme

Teori belajar konektivisme adalah salah satu teori belajar yang memandang pembelajaran sebagai proses penyambungan informasi, bukan sekadar akumulasi informasi semata (Hung, 2014). Teori ini menekankan pentingnya jaringan informasi atau konektivitas dalam proses belajar, di mana peserta didik dapat membangun pengetahuan melalui interaksi dengan lingkungan dan juga melalui interaksi dengan orang lain di dalam dan di luar jaringan (Ravenscroft, 2011). Teori belajar konektivisme dikemukakan oleh George Siemens pada tahun 2005, dan sejak itu menjadi populer di kalangan pendidik dan pelaku pendidikan.

Menurut Siemens (2005), prinsip dasar konektivisme meliputi lima hal yaitu: (1) pembelajaran dan pengetahuan bisa terbentuk di luar individu, terutama melalui jaringan dan koneksi yang terbentuk dengan orang lain dan sumber informasi yang ada; (2) pembelajaran juga merupakan proses sosial yang terjadi melalui interaksi dengan orang lain dan lingkungan sekitar; (3) kemampuan untuk membuat dan mempertahankan koneksi antar ide dan konsep penting dalam pembelajaran; (4) pengetahuan yang relevan dan *up-to-date* lebih penting daripada pengetahuan yang sudah ada secara umum; dan (5) kemampuan untuk melakukan pencarian informasi dan melakukan filterisasi informasi menjadi hal yang sangat penting dalam pembelajaran saat ini.

Prinsip dasar ini menunjukkan bagaimana teori konektivisme memberikan penekanan pada pentingnya interaksi dan koneksi antara individu dan sumber informasi di lingkungannya (Tschofen & Mackness, 2012). Dalam teori ini, individu tidak hanya bertanggung jawab untuk mengumpulkan dan memproses informasi secara mandiri, tetapi juga untuk mengembangkan koneksi dan jaringan dengan orang lain yang dapat membantu peserta didik untuk mencapai tujuan pembelajaran.

Penerapan teori belajar konektivisme dapat dilakukan dalam berbagai konteks pembelajaran, baik di lingkungan formal maupun informal. Salah satu penerapan teori ini yang populer adalah melalui penggunaan teknologi informasi dan komunikasi, khususnya media sosial dan jaringan *online*. Sebuah penelitian oleh Alqurashi dan Vogel (2021) menunjukkan bahwa penggunaan media sosial seperti Facebook dan Twitter dapat meningkatkan interaksi dan kolaborasi antara mahasiswa dalam pembelajaran online. Dalam konteks ini, prinsip konektivisme tentang pentingnya jaringan sosial dan koneksi antara individu menjadi kunci penting dalam menciptakan lingkungan pembelajaran yang efektif.

Penerapan teori belajar konektivisme juga dapat dilakukan dengan memperkenalkan konsep jaringan dalam pembelajaran. Melalui pemanfaatan jaringan, individu dapat memperoleh pengetahuan dan informasi secara terus-menerus, dan dapat belajar dari orang lain yang berbeda latar belakang dan pengalaman. Sebuah penelitian oleh Kop & Hill (2019) menunjukkan bahwa pemanfaatan jaringan dalam pembelajaran dapat meningkatkan motivasi, partisipasi, dan interaksi antar peserta didik.

Penerapan teori konektivisme juga dapat dilakukan melalui pembelajaran berbasis proyek. Melalui pembelajaran proyek, peserta didik dapat bekerja secara kolaboratif dalam menyelesaikan tugas atau masalah tertentu, dan dapat memanfaatkan teknologi untuk saling berbagi informasi dan pengetahuan. Sebuah penelitian oleh Sujo-Montes *et al.* (2020) menunjukkan bahwa pembelajaran

berbasis proyek dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif serta memperkuat koneksi antar peserta didik dalam lingkungan pembelajaran.

Dalam penelitian ini, teori belajar konektivisme diterapkan dengan memperhatikan prinsip-prinsip dasar dari teori ini, seperti pentingnya koneksi antar individu, pemrosesan informasi yang terus-menerus, dan penggunaan teknologi untuk memfasilitasi pembelajaran yang efektif.

2.1.2. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)

Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) adalah suatu bentuk lembar kerja yang dirancang oleh guru sebagai panduan bagi peserta didik dalam belajar dan mencapai tujuan pembelajaran tertentu. LKPD biasanya mengandung informasi tentang materi pembelajaran, pertanyaan, latihan, atau tugas untuk dilakukan oleh siswa. LKPD juga dapat berisi instruksi tentang cara menyelesaikan tugas dan pengukuran kemajuan peserta didik (Rahman & Kartika, 2021).

Menurut Wulandari (2018), Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) memiliki beberapa manfaat, di antaranya:

- a) Meningkatkan keterampilan belajar siswa: LKPD yang dirancang dengan baik dapat membantu siswa untuk belajar dengan lebih terstruktur dan terarah.
- b) Memudahkan pengajaran dan pembelajaran: Dengan menggunakan LKPD, guru dapat merancang pembelajaran dengan lebih terstruktur dan sistematis.
- c) Meningkatkan partisipasi siswa: LKPD dapat membantu siswa untuk lebih aktif dalam pembelajaran karena membutuhkan interaksi langsung antara siswa dan LKPD tersebut.
- d) Membantu evaluasi pembelajaran: LKPD dapat digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi pemahaman dan kemampuan siswa dalam menguasai materi pembelajaran.

Selain itu, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi manfaat penggunaan LKPD dalam proses pembelajaran. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yusuf dan Hamidah (2021), LKPD memiliki manfaat dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan pemecahan masalah siswa. Hal ini karena LKPD dirancang untuk memperkuat pemahaman peserta didik tentang materi pembelajaran dan membantu siswa dalam membangun keterampilan berpikir kritis dan analitis. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Indriyanti dkk. (2020) menunjukkan bahwa LKPD dapat memudahkan guru dalam melakukan pengawasan dan penilaian terhadap kemajuan belajar siswa. Hal ini terjadi karena LKPD memberikan panduan yang jelas dan sistematis tentang apa yang harus dipelajari dan dicapai oleh peserta didik, sehingga memudahkan guru dalam menilai kemajuan peserta didik secara individu.

LKPD dapat digunakan dalam pembelajaran fisika untuk membantu peserta didik dalam memahami konsep-konsep fisika dengan lebih baik. LKPD pada dasarnya adalah alat bantu yang dapat digunakan oleh peserta didik untuk mengorganisir dan merekam pemahaman mereka tentang materi yang telah diajarkan. Penggunaan LKPD dalam pembelajaran fisika memberikan beberapa manfaat, antara lain membantu peserta didik memahami materi dengan lebih baik, meningkatkan keterampilan peserta didik dalam berpikir kritis, dan membantu peserta didik mengembangkan keterampilan eksperimen. Misalnya, dalam penelitian yang dilakukan oleh Saragih dan Syahril (2021), penggunaan LKPD pada materi listrik dinamis di kelas X SMA telah terbukti dapat meningkatkan hasil belajar siswa. Dalam penelitian lain oleh Supahar dan Nuraini (2019), LKPD pada materi optika geometri juga terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep peserta didik dan mengembangkan keterampilan berpikir kritis.

Berdasarkan penjelasan dari beberapa ahli dan hasil penelitian terdahulu, LKPD didefinisikan sebagai salah satu bahan ajar cetak yang dapat dikemas secara inovatif dan kreatif untuk membantu peserta didik dalam melaksanakan aktivitas-aktivitas pembelajaran fisika sesuai dengan tujuan pembelajaran yang ingin

dicapai, seperti untuk memecahkan masalah atau meningkatkan kemampuan berpikir.

LKPD yang dikembangkan oleh penulis adalah LKPD yang memuat aktivitas menelaah permasalahan bencana alam karena perubahan iklim, menentukan solusi alternatif yang bisa dilakukan, serta membuat sensor bencana alam sebagai salah satu solusi mengurangi dampak bencana alam. LKPD tersebut disusun dengan pendekatan UbD serta permasalahan-permasalahan yang berkaitan dengan perubahan iklim dan pemanasan global, serta memberikan ruang untuk meningkatkan kemampuan berpikir komputasi dan kreatif. Selain itu, LKPD yang akan dikembangkan oleh penulis adalah LKPD dalam bentuk cetak sehingga dapat memberikan kemudahan akses kepada peserta didik dalam penggunaannya.

2.1.3. *Understanding by Design (UbD)*

Menurut Wiggins dan McTighe (2005). *Understanding by Design (UbD)* adalah sebuah pendekatan dalam merancang pembelajaran yang tujuan utamanya adalah pemahaman peserta didik. Lebih lanjut, *UbD* adalah sebuah kerangka kerja untuk meningkatkan prestasi peserta didik dengan mengembangkan standar kurikulum, kerangka instruksional, penilaian, dan pengembangan profesional (Al-Tonsi, 2019). *UbD* didasarkan pada tujuan utama dari pendidikan yaitu mengembangkan dan memperdalam pemahaman peserta didik. *UbD* dapat membantu guru untuk menciptakan pembelajaran yang lebih terstruktur dan terorganisir dengan jelas, sehingga siswa dapat memahami konsep dengan lebih baik dan transfer pengetahuan ke dalam kehidupan nyata dapat terjadi secara lebih efektif (Gloria *et al.*, 2020). Pendekatan *UbD* juga dapat membantu siswa untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif, serta memperkuat kemampuan untuk menghubungkan antara konsep yang dipelajari dengan pengalaman nyata.

Wiggins dan McTighe (2005) menjelaskan terdapat tiga tahap dalam UbD yaitu.

a) *Identify desired result* (mengidentifikasi hasil yang diinginkan)

Dalam tahap pertama ini, guru mempertimbangkan tujuan, menguji isi standar yang telah ditentukan dan meninjau ekspektasi-ekspektasi dari pembelajaran.

Berikut merupakan elemen-elemen pada tahap pertama dalam mengidentifikasi hasil yang diinginkan.

1. *Established Goals* (Penetapan Tujuan) yang berisi ide utama/tujuan yang ingin dicapai.
2. *Understanding* (Pemahaman) berisi pemahaman spesifik apa yang harus diketahui dan dipahami oleh peserta didik dalam pembelajaran.
3. *Essential question* (Pertanyaan Esensial) adalah pertanyaan yang dapat mendorong peserta didik untuk menyelidiki dan memahami materi sehingga terjadi transfer pemahaman.
4. *Knowledge and skills* (Pengetahuan dan Keahlian) berisi pengetahuan dan keterampilan utama yang akan peserta didik peroleh sebagai hasil dari pembelajaran

b) Tahap *Determine acceptable evidence*/ Menentukan bukti yang bisa diterima.

Pada tahap ini, guru menetapkan penilaian yang menjadi bukti dari pemahaman peserta didik sehingga dapat dikatakan bahwa pembelajaran yang diinginkan telah dicapai. UbD menganjurkan kita untuk berfikir mengenai sebuah rangkaian pembelajaran dalam syarat-syarat dari kumpulan bukti penilaian yang dibutuhkan untuk membuktikan dan mensyahkan bahwa pembelajaran yang diinginkan telah dicapai, tidak hanya sebagai isi yang telah dicakup atau sebagai rangkaian dari aktivitas belajar. Pertanyaan kunci pada tahap ini yaitu “Bagaimana kita tahu jika peserta didik telah mencapai hasil yang diinginkan? Apa yang akan kita terima sebagai bukti dari pemahaman dan keahlian peserta didik? Bagaimana kita mengevaluasi hasil yang telah dicapai peserta didik?”.

- c) Tahap *Plan learning experience and instruction*/ Merencanakan pengalaman belajar dan instruksi.

Hasil identifikasi tujuan yang jelas dan bukti pemahaman yang sesuai membantu mempermudah dalam merencanakan aktivitas atau pengalaman belajar yang akan dilalui peserta didik. Beberapa pertanyaan kunci yang harus dipertimbangkan pada tahap ini yaitu: pengetahuan dan keahlian apa yang akan peserta didik butuhkan untuk melakukan pembelajaran dengan efektif dan mencapai hasil yang diinginkan? Aktivitas apa yang akan melengkapi peserta dengan pengetahuan dan keahlian yang dibutuhkan? Apa yang perlu diajarkan dan dilatih dan bagaimana itu dapat diajarkan?

Wiggins dan McTighe (2005) mengidentifikasi tujuh prinsip inti desain utama untuk mengajar di kelas yang berbasis pemahaman dalam sebuah rancangan pembelajaran yang disebut WHERETO. WHERETO merupakan sebuah panduan yang sangat konkrit untuk membantu peserta didik mencapai tingkat pemahaman yang sangat baik. Desain WHERETO merupakan sebuah rancangan pembelajaran yang konstruktivis, dimana belajar adalah proses yang aktif dan siswa membangun sendiri pengetahuannya.

Tabel 1 menunjukkan elemen-elemen WHERETO dalam merencanakan aktivitas pembelajaran. Setiap huruf dalam singkatan ini sesuai dengan kunci pertanyaan kerangka instruksi yang harus guru pertimbangkan saat merancang pembelajaran.

Tabel 1 Elemen Kerangka WHERETO dalam Pendekatan UbD

Elemen	Penjelasan
W = Bagaimana membantu para siswa untuk mengetahui kemana (<i>where</i>) mereka dipimpin, (<i>why</i>) mengapa mereka pergi ke sana, dan (<i>what ways</i>) dengan cara apa mereka akan dievaluasi?	Elemen W ini membantu peserta didik untuk mengerti dengan lebih jelas mengenai tujuan, harapan dan manfaat dari pencapaian tujuan pembelajaran.

Elemen	Penjelasan
H = Bagaimana menghubungkan (<i>hook</i>) dan mengikutsertakan minat dan antusiasme siswa dengan pengalaman di awal setiap instruksi?	Elemen H ini mempertimbangkan interaksi peserta didik dengan topik yang diajarkan dan menarik peserta didik pada awal pembelajaran.
E = Bagaimana kita akan membekali (<i>equip</i>) peserta didik, membantu peserta didik mengalami (<i>experience</i>) gagasan utama dari materi ajar dan mengeksplorasi (<i>explore</i>) pengetahuan peserta didik?	Elemen E yang pertama mempertimbangkan alat atau media atau bahan ajar apa yang akan digunakan agar peserta didik mendapat pengalaman dan eksplorasi selama pembelajaran.
R = Bagaimana membuat peserta didik untuk merefleksikan, (<i>reflect</i>), memperbaiki, (<i>revise</i>) dan memikirkan kembali (<i>rethink</i>)?	Elemen R memberikan ruang bagi peserta didik untuk melakukan refleksi, revisi, dan memikirkan kembali solusi atau ide yang mereka kemukakan.
E = Bagaimana peserta didik akan mengevaluasi (<i>evaluate</i>) dan merenungkan pemahaman mereka?	E-2 kedua pada WHERETO ini meminta guru untuk membangun peluang untuk mengevaluasi secara berkelanjutan, termasuk kesempatan bagi peserta untuk mengevaluasi diri.
T = Bagaimana guru menyesuaikan (<i>tailor</i>) pembelajaran dengan kebutuhan, minat dan kemampuan peserta didik?	Elemen T mempertimbangkan kebutuhan, minat, dan kemampuan peserta didik dalam rangka melaksanakan pembelajaran berdiferensiasi

Elemen	Penjelasan
O = Bagaimana akan mengatur (<i>organized</i>) pembelajaran secara efektif sehingga dapat memaksimalkan keterlibatan peserta didik?	Elemen O mempertimbangkan bagaimana guru melakukan manajemen pembelajaran sehingga peserta didik tetap terlibat dalam pembelajaran

Dalam penelitian ini, penulis merancang pembelajaran dengan 3 tahap pendekatan UbD dan memasukan elemen WHERETO ke dalam LKPD ESD berbasis UbD.

2.1.4. Model Pembelajaran *Learning Cycle Tipe 5E*

Learning Cycle Tipe 5E adalah model pembelajaran yang melibatkan lima tahapan, yaitu *Engagement*, *Exploration*, *Explanation*, *Elaboration*, dan *Evaluation*. Model ini dikembangkan untuk membantu siswa membangun pemahaman yang lebih baik tentang konsep-konsep ilmiah dan meningkatkan keterampilan berpikir kritis mereka (Bybee, 2014).

Learning Cycle Tipe 5E memiliki beberapa keunggulan yang dapat mendukung proses pembelajaran yang efektif dan bermakna. Pertama, model ini menempatkan siswa sebagai subjek aktif yang terlibat dalam proses pembelajaran, sehingga dapat meningkatkan motivasi dan minat belajar siswa (Bybee, 2014). Kedua, model ini didesain untuk mengembangkan pemahaman konsep yang kuat dengan melibatkan siswa dalam pengalaman langsung melalui kegiatan eksplorasi, observasi, dan pengalaman berbasis bukti (Dogon, 2021). Ketiga, model ini mendukung pembelajaran berkelanjutan dan terintegrasi dengan mendorong refleksi dan evaluasi, serta memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengaitkan konsep baru dengan pengetahuan sebelumnya dan aplikasi di kehidupan sehari-hari (Bybee, 2014). Tahapan *Learning Cycle Tipe 5E* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Tahapan *Learning Cycle* Tipe 5E

Tahapan	Penjelasan
<i>Engagement</i>	Tahap di mana guru merangsang minat dan memotivasi siswa untuk memulai pembelajaran. Siswa dapat diminta untuk mengaitkan pengetahuan yang sudah dimiliki dengan topik yang akan dipelajari.
<i>Exploration</i>	Tahap di mana siswa diberi kesempatan untuk mengeksplorasi topik yang dipelajari melalui percobaan, observasi, dan pengumpulan data. Guru memberikan kesempatan bagi siswa untuk melakukan tindakan yang lebih aktif dan merancang eksperimen.
<i>Explanation</i>	Tahap di mana guru memberikan penjelasan lebih lanjut tentang topik yang dipelajari dan membantu siswa memahami konsep dan prinsip yang terkait. Guru membimbing siswa dalam membangun pemahaman yang lebih mendalam dan menjawab pertanyaan mereka.
<i>Elaboration</i>	Tahap di mana siswa diberi kesempatan untuk mengembangkan pemahaman mereka dengan cara memperluas, menggabungkan, dan mengaplikasikan pengetahuan yang mereka pelajari. Siswa dapat membuat koneksi antara topik yang dipelajari dan situasi kehidupan nyata.
<i>Evaluation</i>	Tahap di mana siswa dan guru mengevaluasi sejauh mana siswa telah mencapai tujuan pembelajaran dan mengidentifikasi area di mana mereka masih perlu meningkatkan pemahaman mereka. Siswa dapat diminta untuk menguji

Tahapan	Penjelasan
	pemahaman mereka melalui penyelesaian tugas atau proyek dan guru memberikan umpan balik yang sesuai.

Penerapan *Learning Cycle* Tipe 5E dalam pembelajaran fisika dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif, menyenangkan, dan efektif bagi siswa. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Setiawan, Putra, dan Prihatmanto (2021) menunjukkan bahwa penerapan *Learning Cycle* Tipe 5E dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah siswa. Para peneliti mengembangkan modul pembelajaran berbasis 5E. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat peningkatan signifikan pada kemampuan pemecahan masalah siswa setelah mengikuti pembelajaran menggunakan modul berbasis 5E.

Selain itu, sebuah penelitian lain yang dilakukan oleh Yulianti dan Wati (2020) menunjukkan bahwa penerapan *Learning Cycle* Tipe 5E dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan minat dan motivasi belajar siswa. Para peneliti mengembangkan modul pembelajaran berbasis 5E yang meliputi kegiatan eksperimen, diskusi kelompok, dan presentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan modul berbasis 5E dapat meningkatkan minat dan motivasi belajar siswa, serta mengurangi kebosanan dan kejenuhan selama pembelajaran fisika.

Dalam konteks pembelajaran fisika, penerapan *Learning Cycle* Tipe 5E dapat membantu siswa memahami konsep fisika secara lebih baik dan menyenangkan. Tahapan-tahapan yang dirancang dalam *Learning Cycle* Tipe 5E, seperti tahap eksplorasi dan tahap elaborasi, memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif. Selain itu, modul pembelajaran berbasis 5E juga dapat disesuaikan dengan kebutuhan siswa dan kondisi kelas yang berbeda-beda, sehingga dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih personal dan bermakna bagi siswa.

Pendekatan *Understanding by Design* (UbD) dan model pembelajaran *Learning Cycle* Tipe 5E memiliki kesamaan dalam memberikan penekanan pada proses pembelajaran yang efektif dan efisien. Pendekatan UbD menitikberatkan pada perencanaan pembelajaran yang sistematis dengan fokus pada hasil yang ingin dicapai, sedangkan Model *Learning Cycle* Tipe 5E menekankan pada proses pembelajaran yang melibatkan eksplorasi, pengalaman, dan refleksi siswa.

Selain itu, pendekatan UbD dan model *Learning Cycle* Tipe 5E memiliki kecocokan dalam konteks pengembangan kurikulum dan perencanaan pembelajaran. Pendekatan UbD dapat membantu dalam merencanakan pembelajaran yang terstruktur dengan mempertimbangkan kebutuhan, minat, dan kemampuan siswa serta menentukan tujuan pembelajaran yang spesifik. Selain itu, perencanaan pembelajaran yang sistematis dengan pendekatan UbD juga dapat membantu guru dalam memilih sumber belajar dan strategi pembelajaran yang sesuai dengan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai.

Di sisi lain, *Learning Cycle* Tipe 5E menekankan pada pengalaman pembelajaran yang melibatkan eksplorasi, pengalaman, dan refleksi siswa. Model pembelajaran ini dapat membantu siswa untuk memahami konsep-konsep yang kompleks dengan cara yang lebih mudah dipahami dan lebih menarik. Dalam model pembelajaran ini, siswa diberi kesempatan untuk melakukan eksplorasi dan mengalami konsep terlebih dahulu sebelum memahami konsep tersebut secara lebih mendalam. Hal ini sesuai dengan prinsip-prinsip UbD yang menempatkan pengalaman siswa sebagai faktor kunci dalam proses pembelajaran.

Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa pendekatan UbD dan *Learning Cycle* Tipe 5E memiliki kecocokan dalam pengembangan kurikulum dan perencanaan pembelajaran. Pendekatan UbD dapat membantu dalam merencanakan pembelajaran yang terstruktur dan terarah, sementara *Learning Cycle* Tipe 5E dapat membantu dalam menyediakan pengalaman pembelajaran yang menarik dan mudah dipahami oleh siswa. Oleh karena itu, UbD dan *Learning Cycle* Tipe 5E secara bersama-sama dapat membantu dalam menciptakan pembelajaran yang

efektif dan efisien. Hal inilah yang mendasari peneliti menggunakan *Learning Cycle 5E* dalam membelajarkan LKPD ESD berbasis UbD yang akan peneliti kembangkan.

2.1.5. Keterampilan Berpikir Komputasi

Keterampilan berpikir komputasi menjadi keterampilan dasar yang mendasari standar negara dalam seluruh mata pelajaran untuk meningkatkan keterampilan peserta didik dalam memecahkan masalah dan terlibat dalam pemikiran tingkat tinggi dengan menggunakan penalaran heuristik untuk menemukan solusi (Milrad *et al.* 2021). Pengembangan profesional guru dan pendidikan mengenai kemampuan berpikir komputasi adalah elemen penting untuk keberhasilan implementasi berpikir komputasi dalam bidang pendidikan yang secara signifikan berpotensi untuk memajukan keterampilan *problem solving* dengan mengintegrasikan ide, data, logika dalam berbagai disiplin ilmu sehingga peserta didik mampu mendapatkan solusi (Handayani *et al.*, 2020). Guru dapat menambahkan keterampilan berpikir komputasi pada kemampuan analitis yang dimuat dalam LKPD. (Nugroho *et al.*, 2021).

Keterampilan berpikir komputasi membantu peserta didik untuk mengorganisasi informasi, mengidentifikasi pola, menganalisis data, merancang solusi, dan menguji solusi secara sistematis. Berpikir komputasi juga melibatkan pemikiran abstrak, logika, algoritma, dan representasi data dalam menyelesaikan masalah (Mulyono *et al.*, 2021). Dengan menggunakan berpikir komputasi, peserta didik dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif, serta meningkatkan keterampilan berpikir logis dan matematis.

Berpikir komputasi memiliki beberapa indikator meliputi *problem decomposition*, *abstraction*, *algorithms*, *automation*, dan *generalization*. Kelima indikator berpikir komputasi tersebut dipaparkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Indikator Keterampilan Berpikir Komputasi

Indikator	Definisi
1. <i>Problem Decomposition</i>	Memecahkan masalah kompleks menjadi bagian-bagian kecil yang dapat dikelola dan dipecahkan
2. <i>Abstraction</i>	Abstraksi adalah bagian utama yang mendasari <i>computational thinking</i> dengan mengumpulkan informasi yang relevan dan membuang data yang tidak relevan dari sistem yang kompleks untuk menghasilkan pola dan menemukan kesamaan antara representasi yang berbeda
3. <i>Algorithms</i>	Abstraksi dari prosedur langkah demi langkah untuk mengambil input dan menghasilkan beberapa output yang diinginkan
4. <i>Automation</i>	Otomatisasi menyiratkan bahwa perlunya semacam penggunaan komputer untuk menafsirkan abstraksi.
5. <i>Generalization</i>	Generalisasi adalah keterampilan untuk merumuskan solusi dalam istilah umum sehingga dapat diterapkan pada masalah yang berbeda.

(Wing, 2006)

Proses pemecahan masalah dan menemukan solusi melalui keterampilan berpikir komputasi dapat dilakukan melalui lima tahapan sesuai dengan indikator berpikir komputasi meliputi *problem decomposition*, *abstraction*, *algorithms*, *automation*, dan *generalization* (Wing, 2006).

Menurut He *et al.* (2020), tahap *problem decomposition* merupakan proses untuk menguraikan masalah besar menjadi submasalah yang lebih kecil, sehingga memudahkan pemecahan masalah secara sistematis. Tahap ini merupakan tahap awal dalam keterampilan berpikir komputasi dan dapat membantu peserta didik untuk mengembangkan kemampuan analitis dan kritis dalam memecahkan masalah. Selain itu, penelitian oleh Sartono *et al.* (2019) juga menunjukkan bahwa tahap *problem decomposition* membantu peserta didik untuk memahami masalah secara mendalam dan meningkatkan kemampuan analitis dan kreativitas dalam pemecahan masalah.

Abstraction mengharuskan peserta didik untuk dapat mengekstrak informasi esensial dari suatu masalah, kemudian mengabaikan informasi yang tidak relevan atau tidak penting. Hal ini bertujuan untuk membuat masalah yang kompleks menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami. Dalam tahap ini, individu juga diharapkan dapat mengenali pola dan konsep yang terdapat dalam masalah, sehingga dapat membantu dalam memecahkan masalah tersebut.

Menurut Qusay (2020), tahap abstraksi pada keterampilan berpikir komputasi merupakan kemampuan peserta didik dalam mengidentifikasi dan mengekstrak informasi penting dari suatu masalah, serta dapat mengelompokkan informasi tersebut menjadi konsep atau pola yang lebih sederhana dan mudah dipahami. Selain itu, individu juga diharapkan dapat membuat generalisasi dari informasi yang telah diekstrak untuk membantu dalam memecahkan masalah yang lebih kompleks.

Tahap *algorithms* merupakan tahap di mana peserta didik merancang solusi atau rencana langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah yang telah didekomposisi dan diabstraksi pada tahap sebelumnya. Tahap ini melibatkan pembuatan urutan instruksi logis dan terstruktur untuk menyelesaikan masalah. Dalam tahap ini, peserta didik harus mempertimbangkan batasan dan ketersediaan sumber daya dalam merancang algoritma yang efektif. Kemampuan dalam merancang

algoritma dapat membantu meningkatkan pemecahan masalah secara sistematis dan logis (Utomo dan Sunarno, 2020)

Tahap *automation* adalah tahap di mana solusi yang dirancang pada tahap sebelumnya diterapkan dan dieksekusi dengan menggunakan bahasa pemrograman atau perangkat lunak. Pada tahap ini, perancang sistem memikirkan cara untuk menjalankan algoritma yang telah dibuat pada tahap sebelumnya dengan menggunakan teknologi yang tersedia. Hasil akhir dari tahap ini adalah sebuah program atau sistem yang dapat dijalankan secara otomatis untuk menyelesaikan masalah yang ditemukan. Salah satu contoh penerapan tahap *automation* pada keterampilan berpikir komputasi adalah pengembangan perangkat lunak untuk analisis data dalam bidang ilmu komputer. Menurut Firdaus *et al.* (2016), tahap *automation* merupakan tahap yang sangat penting dalam keterampilan berpikir komputasi karena pada tahap ini, solusi yang telah dirancang pada tahap sebelumnya dapat diimplementasikan dan dieksekusi.

Tahap *generalization* adalah tahap di mana peserta didik dapat menggeneralisasi algoritma yang telah dibuat pada situasi atau masalah yang berbeda. Pada tahap ini, peserta didik dapat mengidentifikasi pola dan keteraturan yang terdapat dalam masalah dan menerapkannya pada masalah yang serupa. Kemampuan generalisasi sangat penting karena memungkinkan peserta didik untuk memahami konsep yang lebih abstrak dan aplikatif serta dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif.

Indikator keterampilan berpikir komputasi (*Problem Decomposition, Abstraction, Algorithms, Automation, dan Generalization*) peneliti masukan ke dalam aktivitas yang akan dilakukan oleh peserta didik di dalam LKPD. Harapannya ketika aktivitas-aktivitas tersebut dilaksanakan peserta didik dengan baik, kemampuan berpikir komputasi yang mereka miliki bisa mengalami peningkatan.

2.1.6. Creative Problem Solving

Keterampilan berpikir kreatif adalah kemampuan untuk menghasilkan ide-ide baru atau solusi untuk masalah yang kompleks. Keterampilan ini dapat diterapkan dalam berbagai konteks, termasuk dalam pekerjaan, pendidikan, dan kehidupan sehari-hari. Menurut Runco dan Jaeger (2019), keterampilan berpikir kreatif melibatkan proses pemikiran yang kompleks dan multidimensional, termasuk pemikiran divergen dan konvergen.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan seseorang dalam berpikir kreatif, seperti motivasi, lingkungan, dan kebiasaan berpikir. Menurut Studer dan Berset (2020), motivasi adalah faktor penting dalam keterampilan berpikir kreatif karena individu yang termotivasi cenderung lebih terbuka terhadap ide-ide baru dan berani untuk mencoba pendekatan yang berbeda. Sedangkan menurut Tang *et al.* (2021), lingkungan juga dapat mempengaruhi kreativitas seseorang karena lingkungan yang mendukung dan memberikan kesempatan untuk bereksperimen cenderung memfasilitasi keterampilan berpikir kreatif.

Menurut Tang *et al.* (2021), keterampilan berpikir kreatif dapat membantu dalam memperluas kemungkinan pemecahan masalah dengan menghasilkan ide-ide baru, sedangkan kemampuan untuk memecahkan masalah membutuhkan pemikiran yang kreatif dan inovatif untuk menemukan solusi yang belum pernah terpikirkan sebelumnya. Penelitian juga menunjukkan bahwa pelatihan keterampilan berpikir kreatif dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah seseorang. Sebagai contoh, menurut penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al.* (2020), pelatihan keterampilan berpikir kreatif dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan kreativitas dalam konteks pendidikan.

Ada beberapa indikator dari keterampilan berpikir kreatif yang bisa digunakan dalam memecahkan masalah atau *creative problem solving* (CPS), yaitu *Fact Finding*, *Fact Interpreting*, *Idea Finding*, *Idea Developing*, *Solution Generating*, dan *Solution Evaluating* (Treffinger & Isaksen, 2005)

Tabel 4 Indikator keterampilan *creative problem solving*

Indikator	Definisi
1. <i>Fact Finding</i>	Kemampuan untuk mencari informasi yang relevan dan akurat terkait masalah yang dihadapi.
2. <i>Fact Interpreting</i>	Kemampuan untuk memahami, menganalisis, dan mengevaluasi informasi yang telah dikumpulkan.
3. <i>Idea Finding</i>	Kemampuan untuk menghasilkan berbagai alternatif solusi dan ide-ide kreatif untuk menyelesaikan masalah.
4. <i>Idea Developing</i>	Kemampuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi ide-ide yang telah dihasilkan, serta mengubahnya menjadi solusi yang lebih spesifik dan terukur
5. <i>Solution Generating</i>	Kemampuan untuk merencanakan tindakan yang tepat dalam mengimplementasikan solusi yang telah dipilih.
6. <i>Solution Evaluating</i>	Kemampuan untuk mengevaluasi efektivitas solusi yang telah dipilih dan mengembangkan strategi untuk memperbaiki solusi jika diperlukan.

(Treffinger & Isaksen, 2005).

Tahap *Fact Finding*, peserta didik perlu melakukan beberapa hal untuk memperoleh informasi yang relevan dan akurat terkait masalah yang dihadapi (Treffinger & Isaksen, 2005). Pertama, peserta didik perlu mengidentifikasi dan memahami secara jelas masalah yang dihadapi. Kemudian, mereka perlu mencari informasi yang relevan dan akurat terkait masalah tersebut baik dari sumber

primer maupun sumber sekunder. Selanjutnya, peserta didik perlu mengevaluasi kredibilitas informasi yang telah dikumpulkan sehingga dapat memastikan bahwa informasi tersebut dapat dipercaya. Setelah itu, mereka perlu menyusun informasi yang telah dikumpulkan sehingga dapat dipahami dan digunakan dengan efektif dalam tahap selanjutnya. Terakhir, peserta didik perlu mengembangkan pertanyaan yang relevan untuk memperdalam pemahaman terhadap masalah yang dihadapi serta menentukan informasi yang masih dibutuhkan.

Tahap *Fact Interpreting*, peserta didik perlu melakukan beberapa hal untuk memahami informasi yang telah dikumpulkan pada tahap *Fact Finding* sebelumnya (Treffinger & Isaksen, 2005). Pertama, peserta didik perlu mengorganisir informasi yang telah ditemukan sehingga dapat dimengerti dan digunakan dengan lebih baik. Selanjutnya, peserta didik perlu menganalisis informasi dan mencari hubungan antara informasi yang telah ditemukan. Hal ini akan membantu peserta didik memahami lebih baik hubungan antara berbagai faktor yang terkait dengan masalah yang dihadapi dan membuka kemungkinan untuk menemukan solusi yang lebih kreatif. Selain itu, pada tahap *Fact Interpreting*, peserta didik juga perlu mengasumsikan suatu kerangka pemikiran yang akan membantu mereka dalam menganalisis dan menginterpretasikan informasi yang telah ditemukan. Dalam hal ini, peserta didik dapat menggunakan konsep atau teori yang telah dipelajari sebelumnya untuk membantu mereka dalam memahami informasi yang telah dikumpulkan.

Tahap *Idea Finding*, peserta didik perlu melakukan beberapa hal untuk menghasilkan ide-ide baru terkait dengan masalah yang dihadapi (Treffinger & Isaksen, 2005). Pertama, peserta didik perlu menghasilkan sebanyak mungkin ide terkait dengan masalah yang dihadapi. Dalam hal ini, peserta didik perlu mengeksplorasi berbagai alternatif solusi yang mungkin terkait dengan masalah tersebut. Selanjutnya, peserta didik perlu mengajukan pertanyaan-pertanyaan baru terkait dengan masalah yang dihadapi untuk membantu mereka memperoleh ide-ide baru. Pada tahap ini, peserta didik juga perlu melibatkan kreativitas mereka dalam menghasilkan ide-ide baru. Peserta didik dapat menggunakan teknik

brainstorming atau mind mapping untuk membantu mereka dalam menghasilkan ide-ide baru yang kreatif dan inovatif. Selain itu, pada tahap *Idea Finding*, peserta didik juga perlu mengevaluasi ide-ide yang telah dihasilkan dan menentukan ide-ide mana yang paling berpotensi untuk diimplementasikan. Dalam hal ini, peserta didik dapat menggunakan kriteria evaluasi untuk membantu mereka dalam mengevaluasi dan memilih ide-ide terbaik.

Tahap *Idea Developing*, peserta didik perlu melakukan beberapa hal untuk mengembangkan ide-ide yang telah dihasilkan pada tahap *Idea Finding* menjadi solusi yang lebih konkret dan terimplementasi dengan baik (Treffinger & Isaksen, 2005). Pertama, peserta didik perlu mengembangkan ide-ide yang telah dihasilkan pada tahap sebelumnya menjadi solusi yang lebih spesifik dan terukur. Dalam hal ini, peserta didik perlu mengidentifikasi rincian dan detil yang diperlukan untuk mengimplementasikan ide-ide tersebut. Pada tahap ini, peserta didik juga perlu mengidentifikasi berbagai kendala dan hambatan yang mungkin terkait dengan implementasi ide-ide yang telah dikembangkan. Dalam hal ini, peserta didik perlu berpikir secara kritis untuk mencari solusi terbaik untuk mengatasi kendala dan hambatan yang mungkin muncul.

Tahap *Solution Generating*, peserta didik perlu mempertimbangkan ide-ide yang telah dihasilkan pada tahap sebelumnya untuk menghasilkan solusi yang paling efektif dalam menyelesaikan masalah yang dihadapi. Dalam hal ini, peserta didik perlu melakukan beberapa hal untuk menghasilkan solusi yang lebih inovatif dan kreatif (Treffinger & Isaksen, 2005). Pertama, peserta didik perlu menghasilkan solusi yang berbeda dan beragam untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Peserta didik perlu menghasilkan berbagai macam solusi tanpa membatasi diri pada satu ide saja. Dalam hal ini, teknik *brainstorming* dapat membantu peserta didik untuk menghasilkan ide-ide baru.

Tahap *Solution Evaluating* adalah tahap di mana peserta didik mengevaluasi ide-ide dan solusi yang telah dihasilkan pada tahap sebelumnya dan memilih solusi terbaik yang dapat membantu menyelesaikan masalah yang dihadapi (Treffinger

& Isaksen, 2005).. Pada tahap ini, peserta didik mencoba untuk menilai setiap solusi yang dihasilkan berdasarkan berbagai kriteria, seperti efektivitas, efisiensi, kelayakan, dan dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat sekitar. Hal yang penting diperhatikan pada tahap *Solution Evaluating* adalah peserta didik harus mempertimbangkan secara kritis setiap solusi yang dihasilkan (Treffinger & Isaksen, 2005). Mereka harus memastikan bahwa solusi yang dipilih adalah solusi yang dapat diterapkan dan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi yang ada.

LKPD yang dikembangkan oleh peneliti memuat aktivitas yang sesuai dengan 6 indikator keterampilan berpikir kreatif dalam memecahkan masalah atau *creative problem solving* yang terdiri dari *Fact Finding*, *Fact Interpreting*, *Idea finding*, *Idea Developing*, *Solution Generating* dan *Solution Evaluating*. Peneliti berharap aktivitas-aktivitas tersebut akan membantu peserta didik untuk dapat mengasah kemampuan *creative problem solving* mereka dan mampu menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang berkaitan dengan isu-isu global.

2.1.7. Education for Sustainable Development (ESD)

Education for Sustainable Development (ESD) adalah kerangka pendidikan yang memprioritaskan pembelajaran tentang bagaimana menciptakan masyarakat yang berkelanjutan, di mana kebutuhan generasi saat ini dapat terpenuhi tanpa mengorbankan kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhan mereka (UNESCO, 2020). Pendidikan berkelanjutan ini memberikan pemahaman tentang bagaimana mempertahankan dan meningkatkan kualitas hidup kita, sambil memperhatikan keberlanjutan bumi. Menurut Schmelzing *et al.* (2020), ESD adalah sebuah konsep pembelajaran yang membantu peserta didik memahami hubungan antara manusia dengan lingkungan dan bagaimana tindakan kita saat ini memengaruhi keberlanjutan bumi. ESD mengajarkan peserta didik tentang solusi berkelanjutan, seperti energi terbarukan, pengelolaan limbah, dan pertanian berkelanjutan, serta menumbuhkan kemampuan kritis dan kreatif dalam memecahkan masalah terkait lingkungan

Implementasi ESD telah terbukti secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi pemahaman keberlanjutan individu, kesadaran keberlanjutan, dan sikap terkait pembangunan berkelanjutan, efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik, meningkatkan hasil belajar dan efikasi diri peserta didik (Cahyono *et al.*, 2012), meningkatkan kebiasaan berpikir (Gloria *et al.*, 2020), membangkitkan motivasi internal (Al-Tonsi, 2019), serta mengembangkan empati dan rekognisi diri (Ozyurt *et al.*, 2021).

Dalam penelitian ini, topik ESD yang dimasukkan ke dalam pembelajaran merupakan bagian dari Capaian Pembelajaran pada Fase E untuk Kurikulum Merdeka pada mata pelajaran IPA. Topik yang diambil adalah perubahan iklim dan pemanasan global, di mana peserta didik akan melakukan aktivitas pembuatan sensor bencana alam sebagai bagian dari solusi dalam mengatasi bencana alam karena perubahan iklim. Tabel 5 menunjukkan analisis capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran yang telah dilakukan peneliti.

Tabel 5 Analisis Capaian Pembelajaran dan Tujuan Pembelajaran

Elemen Capaian Pembelajaran	Tujuan Pembelajaran	Indikator Tujuan Pembelajaran
<p>PEMAHAMAN FISIKA</p> <p>Peserta didik mampu mendeskripsikan gejala alam dalam cakupan keterampilan proses dalam pengukuran, perubahan iklim dan pemanasan global, pencemaran lingkungan, energi alternatif, dan pemanfaatannya.</p>	<p>Memahami bencana alam yang diakibatkan oleh perubahan iklim dan pemanasan global.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu menjelaskan konsep dasar tentang perubahan iklim dan pemanasan global 2. Peserta didik mampu mengidentifikasi bencana alam dan keterkaitannya dengan perubahan iklim dan pemanasan global 3. Peserta didik mampu menentukan sensor sensor yang akan digunakan dalam mengidentifikasi bencana alam 4. Peserta didik
<p>KETERAMPILAN PROSES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengamati, Mempertanyakan dan memprediksi 		

2. Merencanakan dan melakukan penyelidikan	merancang sensor yang akan digunakan dalam
3. Memproses menganalisis data dan informasi	mengidentifikasi bencana alam
4. Mencipta Mengevaluasi dan fleksi	5. Peserta didik membuat sensor yang akan digunakan dalam mengidentifikasi bencana alam
3. Mengomunikasikan hasil	6. Peserta didik mengkomunikasikan hasil pembuatan sensor

2.1.8. Bencana Alam Karena Perubahan Iklim

Perubahan iklim dan pemanasan global dapat menyebabkan terjadinya berbagai bencana alam yang dapat mengancam kehidupan manusia dan ekosistem di seluruh dunia. Berdasarkan laporan IPCC terbaru, perubahan iklim telah menyebabkan meningkatnya frekuensi dan intensitas dari beberapa jenis bencana alam seperti banjir, kekeringan, badai tropis, dan kebakaran hutan (IPCC, 2021). Hal ini menjadi dasar bagi pendidik untuk memberikan pemahaman kepada peserta didik agar peduli pada tiap bencana alam tersebut.

Bencana banjir merupakan salah satu dampak perubahan iklim yang paling terasa di seluruh dunia. Menurut laporan oleh Pelling *et al.* (2020), banjir akibat perubahan iklim dan pemanasan global dapat terjadi karena meningkatnya intensitas dan frekuensi hujan, tingginya permukaan laut, dan penurunan kemampuan tanah untuk menyerap air. Banjir dapat menyebabkan kerusakan properti dan infrastruktur, kehilangan nyawa, dan penyebaran penyakit.

Kekeringan juga merupakan dampak serius dari perubahan iklim, terutama di wilayah-wilayah yang cenderung kering. Menurut laporan oleh IPCC (2021), kekeringan yang lebih sering dan lebih panjang dapat terjadi karena pemanasan

global, dan hal ini dapat mengancam keberlangsungan hidup masyarakat dan ekosistem yang tergantung pada air. Kekeringan dapat menyebabkan hilangnya sumber daya air, kerusakan tanah, dan terjadinya kelaparan.

Selain itu, pemanasan global juga dapat menyebabkan meningkatnya frekuensi dan intensitas badai tropis dan kebakaran hutan. Menurut laporan oleh Hoegh-Guldberg *et al.* (2018), pemanasan global dapat menyebabkan peningkatan suhu permukaan laut, yang dapat menyebabkan terjadinya badai tropis yang lebih sering dan lebih kuat. Kebakaran hutan juga dapat terjadi karena peningkatan suhu dan kekeringan, serta meningkatnya intensitas cuaca yang ekstrem.

Upaya mitigasi dan adaptasi perlu dilakukan untuk mengurangi dampak bencana alam yang disebabkan oleh perubahan iklim. Menurut laporan IPCC (2021), upaya mitigasi dapat mengurangi risiko dampak perubahan iklim, sementara upaya adaptasi dapat membantu masyarakat dan ekosistem untuk bertahan dan beradaptasi dengan dampak yang sudah tidak dapat dihindari. Pembelajaran yang dilaksanakan di dalam penelitian ini fokus untuk mendampingi peserta didik untuk menemukan dan menerapkan solusi untuk mengurangi dampak dari bencana alam, salah satunya dengan merancang dan membuat sensor bencana alam yang disebabkan oleh perubahan iklim, yakni banjir, kekeringan, dan kebakaran hutan.

2.1.9. *Micro:bit* dalam pembelajaran Fisika

Micro:bit adalah sebuah papan mikrokontroler yang dirancang untuk digunakan dalam pendidikan teknologi dan sains. Papan ini memiliki berbagai sensor dan komponen elektronik yang memungkinkan penggunaannya untuk membuat berbagai macam proyek elektronik yang berinteraksi dengan dunia nyata. *Micro:bit* juga dilengkapi dengan bahasa pemrograman blok visual yang mudah dipelajari oleh anak-anak, sehingga memungkinkan mereka untuk belajar tentang dasar-dasar pemrograman dan elektronika.

Microbit awalnya dikembangkan oleh BBC (*British Broadcasting Corporation*) pada tahun 2015 sebagai bagian dari kampanye pendidikan teknologi di Inggris. Saat ini, papan mikrokontroler ini telah digunakan secara luas di berbagai negara di seluruh dunia dalam bidang pendidikan, penelitian, dan pengembangan produk teknologi.

Beberapa penelitian terbaru tentang penggunaan *micro:bit* dalam pendidikan menunjukkan hasil yang positif dalam meningkatkan keterampilan pemrograman dan pengembangan keterampilan kreatif dan berpikir kritis siswa. Sebagai contoh, sebuah studi yang dilakukan di Jepang menemukan bahwa penggunaan *micro:bit* dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan pemrograman siswa (Toda *et al.*, 2019). Studi lain yang dilakukan di Amerika Serikat menunjukkan bahwa penggunaan *micro:bit* dalam pembelajaran STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa (Scott *et al.*, 2018).

Penggunaan *micro:bit* dalam pembelajaran fisika dapat ditemukan dalam beberapa penelitian. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Li *et al.* (2021) yang mengembangkan perangkat lunak untuk simulasi eksperimen fisika yang terintegrasi dengan *micro:bit*. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *micro:bit* dalam simulasi eksperimen fisika dapat membantu siswa untuk memahami konsep fisika dengan lebih baik. Selain itu, terdapat penelitian yang dilakukan oleh Jia *et al.* (2020) yang menggunakan *micro:bit* untuk mengajarkan konsep gerak pada siswa SMA. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *micro:bit* dapat membantu siswa memahami konsep gerak dengan lebih baik dan meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran.

Micro:bit dapat digunakan sebagai sensor untuk memonitor perubahan lingkungan, termasuk perubahan iklim dan bencana alam terkait. Penggunaan *micro:bit* pada sensor peringatan banjir memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan *real-time* tentang tingkat air dan kondisi cuaca, sehingga dapat memberikan peringatan dini pada masyarakat sekitar akan kemungkinan

terjadinya banjir. Sensor ini dapat dipasang di sepanjang sungai atau kanal, dan mengirimkan data ke sistem pemantauan jarak jauh untuk memproses dan memprediksi kemungkinan terjadinya banjir (Arifin & Nurhayati, 2021).

Micro:bit juga dapat digunakan sebagai sensor kecepatan angin untuk memberikan peringatan dini terhadap terjadinya badai atau angin puting beliung. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor accelerometer yang terdapat pada *micro:bit*. Sensor accelerometer dapat mengukur percepatan pada tiga sumbu, yaitu sumbu x, y, dan z (Giri *et al.*, 2020)

Sebagai tambahan, *Micro:bit* juga dapat digunakan sebagai sensor api dan asap dengan memanfaatkan sensor suhu dan sensor gas yang terdapat di dalamnya. Ketika suhu dan kadar gas yang diukur oleh sensor telah mencapai ambang batas tertentu, maka *Micro:bit* dapat memberikan sinyal peringatan melalui suara atau cahaya yang dapat diterima oleh pengguna. Hal ini dapat membantu mendeteksi kebakaran hutan lebih cepat sehingga upaya penanganan dapat dilakukan lebih dini dan membantu mencegah dampak yang lebih besar (Rahmadhani & Nurhayati, 2021).

Pada penelitian ini, peserta didik melakukan aktivitas-aktivitas dengan memanfaatkan *micro:bit* untuk bisa merancang dan membuat sensor banjir, kekeringan, dan kebakaran hutan sebagai salah satu solusi mengurangi dampak bencana alam karena perubahan iklim.

2.2. Penelitian Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Penelitian yang Relevan

Penulis	Judul	Desain Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan
Nuryanti, <i>et al.</i>	<i>The development of an ESD module through online learning to improve students' environmental awareness</i>	<i>Research and Development.</i>	Modul ESD yang diterapkan melalui pembelajaran daring mampu meningkatkan kesadaran menjaga lingkungan.	Mengembangkan LKPD Topik ESD untuk meningkatkan berpikir komputasi dan berpikir kreatif
Pangesti, H., <i>et al.</i>	<i>The effect of LKPD with the 5E learning cycle model on science process skills and environmental attitudes</i>	<i>Quasi-Experimental</i>	Penggunaan LKPD dengan Siklus 5E dan topik lingkungan bisa meningkatkan keterampilan proses sains dan perilaku yang baik terhadap lingkungan.	Mengembangkan LKPD Topik ESD dengan pendekatan UbD untuk meningkatkan berpikir komputasi dan berpikir kreatif
Mahfudzoh, A., <i>et al.</i>	<i>Development and Implementation of Physics Learning Materials Based on Understanding by Design (UbD) to Improve Students' Creative Thinking Skills</i>	<i>Research and Development Design</i>	Pengembangan dan implementasi LKPD fisika berbasis UbD dapat meningkatkan keterampilan berpikir kreatif siswa.	Meningkatkan berpikir komputasi dengan topik ESD

Penulis	Judul	Desain Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan
T. H. Cahyono, <i>et al.</i>	<i>UbD-LKPD Integrated Instruction Model: Its Effectiveness on Students' Learning Outcomes and Self-Efficacy in Mathematics</i>	<i>Quasi-experimental</i>	Model pembelajaran yang mengintegrasikan UbD dan LKPD efektif dalam meningkatkan hasil belajar dan efikasi diri siswa dalam matematika	Mengembangkan LKPD Topik ESD untuk meningkatkan berpikir komputasi dan berpikir kreatif
Li, L., <i>et al</i>	<i>Using Micro:bit to Enhance Creative Problem-Solving and Computational Thinking of College Students in a Digital Learning Environment</i>	<i>Pre- and post-test experiment</i>	Penggunaan <i>Micro:bit</i> meningkatkan kemampuan berpikir kreatif dalam pemecahan masalah dan kemampuan berpikir komputasi	Mengembangkan LKPD berbasis UbD dengan topik ESD
Niu, J., & Lai, C.-L.	<i>The Development of the Micro:bit Creative Problem-Solving Teaching Material for Enhancing Students' Computational Thinking and Creativity</i>	<i>Design-based research</i>	Bahan ajar berbantuan <i>Micro:bit</i> meningkatkan kemampuan berpikir kreatif dalam pemecahan masalah dan kemampuan berpikir komputasi	Mengembangkan LKPD berbasis UbD dengan topik ESD

Penulis	Judul	Desain Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan
Ümit Çalışkan, Gülsen Çağıltay, İrem İnceoğlu	<i>The Effects of Using UbD Approach on the Creativity and Science Process Skills of High School Students in Nuclear Energy Topic</i>	<i>Quasi-experimental</i>	Peserta didik dalam grup UbD memiliki nilai kreatifitas dan keterampilan prosesn sains yang tinggi.	Mengembangkan LKPD dengan topik ESD untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan berpikir kreatif.

Penelitian-penelitian terdahulu menjadi landasan penulis untuk melakukan penelitian ini. Hal yang menjadi kebaruan dari penelitian ini adalah bahwa LKPD akan dikembangkan berbasis UbD dan akan memuat isu-isu global, seperti perubahan iklim dan pemanasan global serta pencemaran lingkungan, dengan tujuan memberikan ruang kepada peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* dengan menyelesaikan permasalahan-permasalahan sesuai dengan konteks ESD. Selain itu, LKPD yang dikembangkan juga akan memuat aktivitas berbantuan Micro:bit. Salah satu *single-board computers* yang mudah digunakan oleh peserta didik karena mudahnya bahasa pemrograman dan terdapatnya berbagai sensor dalam *Micro:bit*, yang diharapkan bisa memberikan penguatan pada keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* peserta didik.

2.3. Kualitas Produk Pembelajaran

Menurut (Plomp & Nieveen, 2010) beragam produk pembelajaran secara umum berperan penting dalam pendidikan, sehingga harus memiliki kualitas yang baik. Suatu produk pembelajaran dikatakan berkualitas baik apabila memenuhi 3 kriteria, yaitu validitas, kepraktisan, dan efektivitas. Pertama, produk pembelajaran dikatakan berkualitas baik apabila dianggap valid dengan memenuhi

dua kriteria, yaitu memiliki komponen material yang menjadi dasar untuk pengetahuan yang mutakhir (validitas konten) dan semua komponen harus sesuai dan secara konsisten saling terkait satu sama lain (validitas konstruk). Kriteria kedua dari produk pembelajaran berkualitas baik apabila guru (dan ahli lainnya) menganggap bahwa produk dapat digunakan dengan mudah oleh guru dan peserta didik atau disebut praktis. Kriteria ketiga dari produk pembelajaran berkualitas baik apabila dapat mencapai tujuan pembelajaran yang diinginkan dan menjadikan peserta didik memahami pembelajaran tersebut (Plomp & Nieveen, 2010).

Berdasarkan kriteria produk pembelajaran yang telah dipaparkan LKPD yang dikembangkan pada penelitian ini dapat dikatakan sebagai apabila memenuhi kriteria sebagai berikut.

1. Kevalidan LKPD ditinjau dari 4 dimensi yakni validitas konten, konstruk, bahasa, dan desain. LKPD dinyatakan valid untuk digunakan jika mendapat rata-rata persentase lebih dari 61%.
2. Kepraktisan LKPD ditinjau dari 3 aspek yakni keterbacaan, kemenarikan, dan kepraktisan. LKPD dinyatakan praktis diterapkan jika mendapat rata-rata persentasi lebih dari 61%
3. Kefektifan LKPD ditinjau dari nilai *effect size* yang didapatkan. LKPD dinyatakan efektif meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* jika mendapatkan *effect size* pada rentang 0,2 sampai dengan 0,8.

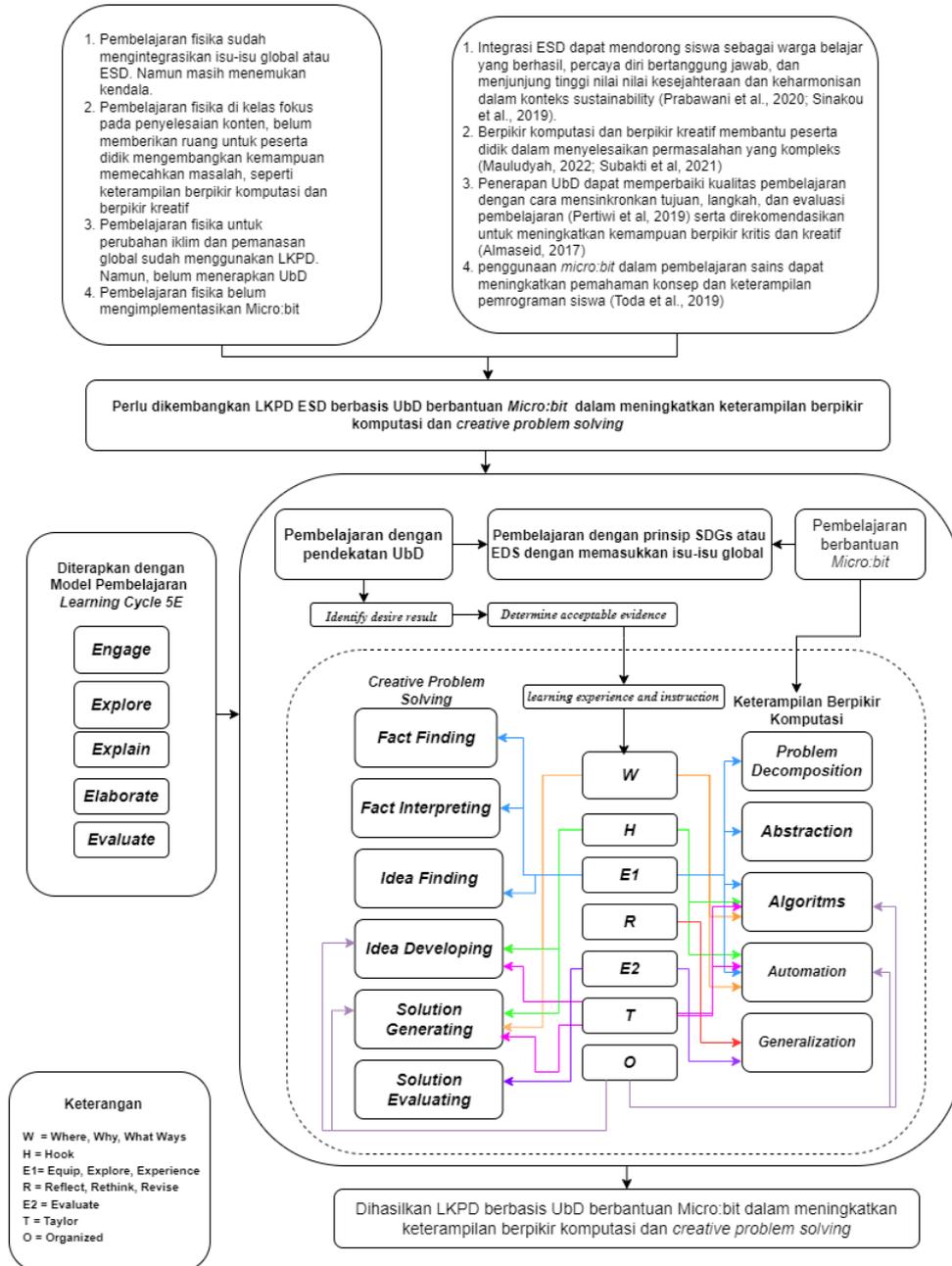
2.4. Kerangka Pemikiran

Keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* memegang peranan penting dalam membantu peserta didik mengatasi berbagai tantangan dan menyelesaikan masalah dalam konteks keberlanjutan dan lingkungan.

Keterampilan berpikir komputasi membantu peserta didik dalam merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi solusi menggunakan algoritma dan otomatisasi, sedangkan keterampilan *creative problem solving* memungkinkan peserta didik untuk menghasilkan ide-ide kreatif dalam merumuskan solusi untuk masalah yang kompleks. Kombinasi kedua keterampilan ini memberikan peserta didik kemampuan untuk menghadapi tantangan dunia nyata dengan lebih efektif, terutama dalam mengatasi masalah-masalah yang berkaitan dengan perubahan iklim dan dampaknya terhadap bencana alam.

Tahapan pembelajaran UbD memiliki potensi dalam melatih keterampilan komputasi dan *creative problem solving*. Tahap W, H, T, dan O membantu peserta didik untuk mengerti dengan lebih jelas mengenai tujuan, harapan dan manfaat dari pencapaian tujuan pembelajaran dengan mempertimbangkan kebutuhan, minat, dan kemampuan peserta didik dalam rangka melaksanakan pembelajaran berdiferensiasi serta interaksi peserta didik dengan topik yang diajarkan dan menarik peserta didik pada awal pembelajaran sehingga berpotensi untuk bisa melatih kemampuan *Algorithms, Automation, Idea Developing* dan *Solution generating*. Elemen E1 mempertimbangkan alat atau media atau bahan ajar apa yang akan digunakan agar peserta didik mendapat pengalaman dan eksplorasi selama pembelajaran berpotensi untuk melatih keterampilan *Problem Decomposition, Abstraction, Fact-finding, Fact Interpreting, Algorithms, Automation, Idea Finding*, dan *Idea Developing*. Tahap R memberikan ruang bagi peserta didik untuk melakukan refleksi, revisi, dan memikirkan kembali solusi atau ide yang mereka kemukakan sehingga berpotensi untuk melatih kemampuan *Generalization*. Tahap E2 membangun peluang untuk mengevaluasi secara berkelanjutan, termasuk kesempatan bagi peserta untuk mengevaluasi diri berpotensi untuk melatih kemampuan *Generalization* dan *Solution evaluating*. Terakhir,

tahap T sehingga berpotensi melatih *Algorithms, Automation, Idea Developing* dan *Solution Generating*. Tahapan-tahapan ini diprediksi tidak hanya memberikan pemahaman yang mendalam tentang topik perubahan iklim dan pemanasan global, tetapi juga melatih keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* secara efektif.

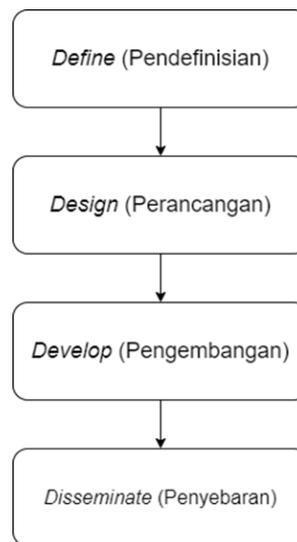


Gambar 1. Bagan Kerangka Pemikiran

III. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian Pengembangan

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode campuran (*mixed-method*) *Research and Development* model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, dan Disseminate*) yang dikembangkan oleh Thiagarajan (1974).



Gambar 2. Model Pengembangan 4D (Thiagarajan, 1974)

Model pengembangan 4D merupakan model pengembangan yang biasa digunakan dalam penelitian pendidikan. Model pengembangan ini secara umum terdiri dari 4 tahap utama, yakni pendefinisian, perancangan, pengembangan, dan penyebaran.

3.2 Prosedur Pengembangan Produk

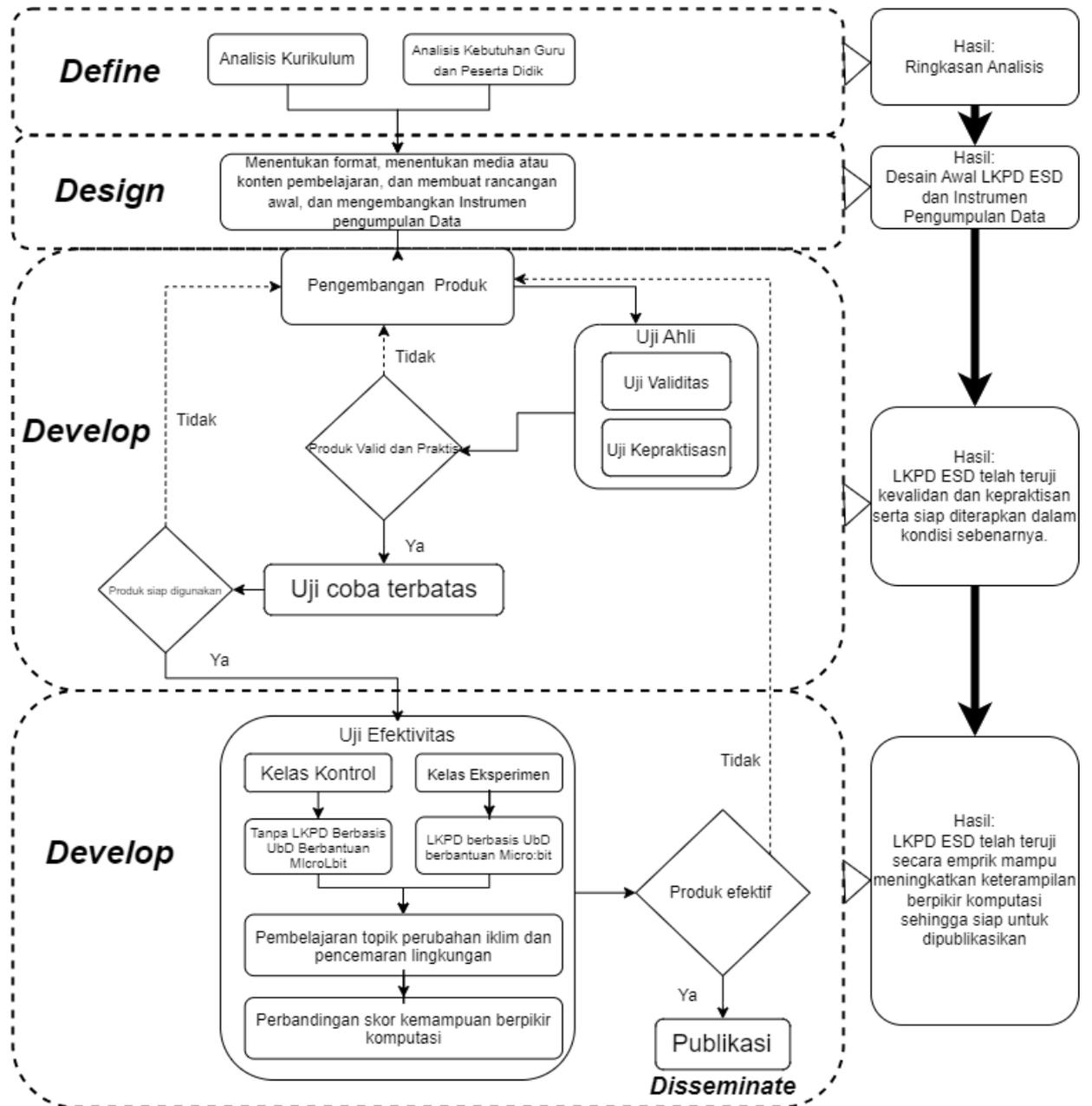
Prosedur pengembangan produk terdiri dari langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti dalam membuat suatu produk. Prosedur penelitian yang digunakan megadaptasi dari prosedur penelitian pengembangan 4D yang dikembangkan oleh Thiagarajan (1974).

Tabel 7. Prosedur Umum Model Pengembangan 4D

	Pendefinisian	Perancangan	Pengembangan	Penyebaran
Konsep	Mendefinisikan kebutuhan dalam pengembangan	Merancang produk sesuai dengan kebutuhan	Mengembangkan produk	Menyebarkan produk yang sudah siap diterapkan
Prosedur Umum	1. Analisis Kurikulum (Konsep dan tujuan pembelajaran) 2. Analisis kebutuhan guru 3. Analisis kebutuhan peserta didik	1. Menentukan format produk 2. Menentukan media atau konten 3. Membuat rancangan awal 4. Merancang instrumen pengumpulan data	1. Mengembangkan produk 2. Uji Ahli (validitas dan kepraktisan) 3. Respon Guru terhadap LKPD yang dikembangkan 4. Uji Coba Terbatas (Uji keterbacaan, uji kepraktisan, uji keefektifan)	1. Publikasi hasil penerapan dan uji keefektifan
	Ringkasan Analisis	Desain Awal dan Instrumen Pengumpulan Data	Produk yang siap diterapkan	Produk dipublikasikan

Hasil akhir dari penelitian ini adalah LKPD yang berbasis *Understanding by Design (UbD)* dalam konteks *Education for Sustainable Development (ESD)* dalam rangka meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan kreatif dengan bantuan *Micro:bit*. Peneliti menerapkan tiap tahapan dari model pengembangan

4D tersebut untuk mengembangkan LKPD tersebut. Tahap pengembangan produk ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur Tahapan Penelitian

3.2.1 Tahap Pendefinisian (*Define*)

Tahap ini dilaksanakan dengan cara melakukan analisis kurikulum dan analisis kebutuhan. Pada analisis kurikulum, peneliti menganalisis konsep yang akan diajarkan dan posisi konsep tersebut di dalam struktur Capaian Pembelajaran (CP) Kurikulum Merdeka. Peneliti menemukan bahwa pembelajaran dengan konteks ESD bisa dilaksanakan pada materi IPA kelas X pada perubahan iklim dan pemanasan global serta pencemaran lingkungan. Dengan kerangka UbD yang dikembangkan oleh Wiggins *et al.* (2005), peneliti memetakan tujuan pembelajaran, konten atau materi yang akan dipahami peserta didik, pertanyaan-pertanyaan esensial yang harus dijawab peserta didik, keterampilan yang akan diperoleh peserta didik dan konsep-konsep kunci. Peneliti juga menentukan asesmen pembelajaran serta aktivitas-aktivitas yang akan dilakukan peserta didik dalam LKPD.

Pada tahap ini, peneliti juga melakukan analisis kebutuhan pengembangan LKPD berbasis UbD dalam konteks ESD pada guru dan peserta didik. Tabel 8 menunjukkan kisi-kisi angket analisis kebutuhan.

Tabel 8. Kisi-kisi Angket Analisis Kebutuhan

Aspek yang dianalisis	Indikator	Jumlah
Desain Pembelajaran	Pembelajaran dengan Pendekatan <i>Understanding by Design</i> (UbD)	4 butir soal
	Pembelajaran dalam konteks <i>Education for Sustainable Development</i> (ESD)	7 butir soal
Media Pembelajaran	Penggunaan LKPD pada pembelajaran	3 Butir soal
	Pemanfaatan TIK pada pembelajaran	4 butir soal
Keterampilan Berpikir	Aktivitas pembelajaran yang melatih berpikir komputasi	3 butir soal
	Aktivitas pembelajaran yang melatih <i>creative problem solving</i>	2 butir soal

3.2.2. Tahap Perancangan (*Design*)

Hal-hal yang dilakukan pada tahap perancangan adalah sebagai berikut.

1. Menentukan format LKPD, dimana peneliti akan mengembangkan LKPD dengan bantuan Canva. Sehingga bisa berbentuk LKPD elektronik dan cetak.
2. Menentukan media atau konten pembelajaran, dimana pada tahap ini peneliti menentukan media atau konten apa saja yang akan masuk ke dalam LKPD termasuk di dalamnya aktivitas-aktivitas yang akan dilakukan peserta didik untuk melatih kemampuan berpikir komputasi dan kreatif. LKPD yang dikembangkan akan menggunakan kerangka UbD dari Wiggins *et al.* (2005) yang berisi *Desired Results* (Capaian Hasil Belajar yang Diharapkan), *Assessment Evidence* (Assesmen Bukti Pembelajaran), dan *Learning Activities* (Aktivitas Pembelajaran). Di dalam aktivitas pembelajaran, peneliti juga memasukkan aktivitas-aktivitas yang dapat melatih kemampuan berpikir komputasi dan kreatif.
3. Merancang instrumen yang akan digunakan dalam penelitian ini. Instrumen yang akan digunakan adalah instrumen uji ahli dan uji coba terbatas produk yang terdiri dari uji validitas dan uji kepraktisan. Instrumen lainnya adalah instrumen yang akan digunakan untuk mengukur kemampuan berpikir komputasi dan berpikir kreatif. Instrumen-instrumen ini nantinya akan diuji oleh pendidik fisika dengan kriteria telah menyelesaikan pendidikan S1 dan bersertifikat pendidik atau telah/sedang menempuh pendidikan S2.
4. Membuat rancangan awal dari LKPD, dimana LKPD nanti akan terdiri dari 2 topik pembelajaran ESD, yakni perubahan iklim dan pencemaran lingkungan. Masing-masing topik akan mengandung 2 judul Lembar Kerja dan salah satunya adalah pembelajaran berbantuan *Micro:bit*. Tabel 9 menunjukkan rancangan konten di dalam LKPD.

Tabel 9. Rancangan Konten Pembelajaran dalam LKPD

Topik	Judul Aktivitas Lembar Kerja	Aktivitas
Perubahan Iklim dan Pemanasan Global	Bencana Alam Akibat Perubahan Iklim dan Pemanasan Global	<ul style="list-style-type: none"> • Eksplorasi dan diskusi untuk mengidentifikasi bencana alam yang disebabkan oleh perubahan iklim dan pemanasan global • Eksplorasi, diskusi, dan presentasi untuk menjelaskan konsep dasar tentang perubahan iklim dan pemanasan global • Eksplorasi dan diskusi untuk menentukan sensor sensor yang akan digunakan dalam mengidentifikasi bencana alam
	Pembuatan Sensor Bencana Alam	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang sensor yang akan digunakan dalam mengidentifikasi bencana alam • Membuat sensor yang akan digunakan dalam mengidentifikasi bencana alam • Melakukan ujicoba dan mempresentasikan hasil ujicoba sensor

3.2.3. Tahap Pengembangan (*Develop*)

Pada tahap ini, peneliti melakukan hal-hal berikut.

1. Mengembangkan LKPD sesuai dengan rancangan awal yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Peneliti mengumpulkan konten materi, asset digital berupa gambar, ikon, dan video untuk disusun ke dalam LKPD tersebut. Konten dan

aset yang telah disiapkan selanjutnya disusun dengan menggunakan aplikasi Canva.

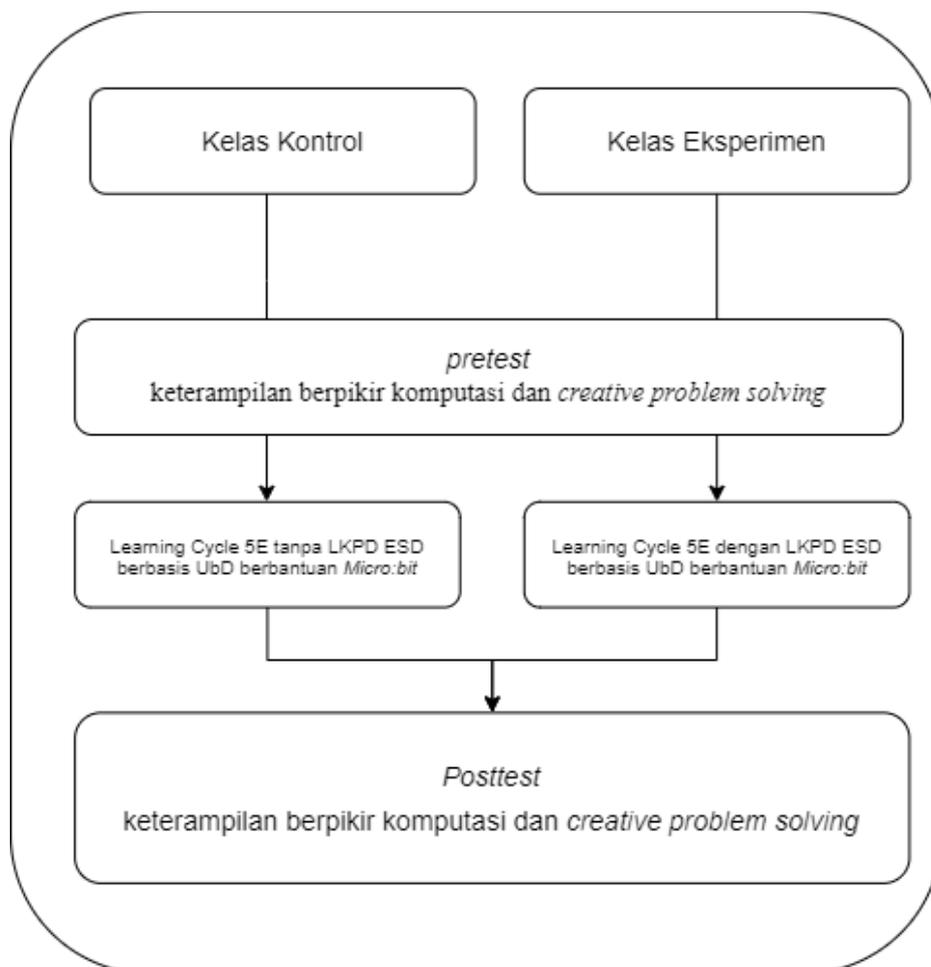
2. Melakukan uji ahli pada LKPD yang telah berhasil dibuat. Uji ahli yang dilakukan terbagi ke dalam dua bagian, yakni uji validitas dan uji kepraktisan. Uji ahli akan dilakukan oleh dosen pendidikan fisika dan pendidik fisika dengan kriteria telah menyelesaikan pendidikan S2 dan bersertifikat pendidik. Tabel 10 menunjukkan komponen dari uji ahli.

Tabel 10. Komponen Uji Validitas

Uji	Komponen	Aspek
Uji Validitas	Validasi Konstruk	Kesesuaian desain sampul
		Kesesuaian tulisan dan gambar pada materi
		Kesesuaian gambar, simulasi, video
		Kesesuaian stimulus dan teks pada pertanyaan-pertanyaan
		Kesesuaian instruksi aktivitas belajar
	Validasi isi	Keberagaman aktivitas di dalam LKPD
		Kesesuaian Capaian Pembelajaran dan Tujuan Pembelajaran
		Kesesuaian tujuan pembelajaran dalam LKPD dengan pengetahuan dan kompetensi yang akan dicapai
		Kesesuaian LKPD dengan pendekatan UbD
		Kesesuaian LKPD dengan Indikator kemampuan Berpikir Komputasi
	Validasi Bahasa	Kesesuaian LKPD dengan Indikator Kemampuan <i>creative problem solving</i>
		Kelugasan isi
Komunikatif		
Dialogis dan Interaktif		
Validasi Desain	Kesesuaian dengan tahap perkembangan peserta didik	
	Kesesuaian dengan kaidah Bahasa	
	Cover	
		Konten

Hasil uji validasi ini akan menentukan apakah produk yang dikembangkan harus diperbaiki atau sudah layak.

3. Melakukan uji kepraktisan pada produk yang dihasilkan pada beberapa peserta didik yang sudah melaksanakan pembelajaran dengan topik perubahan iklim serta guru mata Pelajaran fisika. Ujicoba ini dilakukan untuk melihat kepraktisan yang terdiri dari keterbacaan dan kemenarikan menurut pandangan peserta didik terhadap LKPD yang telah dikembangkan. Selain itu, uji kepraktisan dilakukan dengan melihat keterlaksanaan pembelajaran oleh guru mata pelajaran fisika.
4. Melakukan uji keefektifan dengan melakukan penelitian eksperimen dengan disain kuantitatif berupa metode kuasi eksperimen “*Non- equivalent Pretest – Posttest Control Group Design*”. Kelas kontrol dan eksperimen akan melakukan *pretest* untuk mengetahui nilai atau skor keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* sebelum pembelajaran. Setelah itu, kedua kelas akan melaksanakan pembelajaran yang sama, yaitu pembelajaran topik perubahan iklim dan pemanasan global serta pencemaran lingkungan. Kelas kontrol akan melakukan pembelajaran dengan model pembelajaran *Cycle 5E* tanpa menggunakan LKPD ESD sedangkan kelas eksperimen akan melakukan pembelajaran *Cycle 5E* dengan LKPD ESD berbantuan *Micro:bit*. Peneliti melakukan observasi aktivitas yang melatih keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* pada kelas eksperimen. Hasil pengamatan tersebut menjadi bukti terlaksananya aktivitas yang melatih keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*.



Gambar 4. Alur Uji Efektifitas

5. Selanjutnya kedua kelas mengisi *posttest* untuk mendapatkan skor keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* setelah pembelajaran. Hasil *pretest* dan *posttest* tersebut dianalisis untuk mengetahui efektivitas LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* dalam meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*. Bagian akhir dari penyebaran adalah melakukan publikasi dari LKPD ESD yang sudah dikembangkan dan sudah teruji efektivitasnya.

3.2.4. Tahap Penyebaran (*Disseminate*)

Pada tahap penyebaran, peneliti melakukan penyebaran hasil pengembangan dan uji coba terbatas LKDP yang telah dikembangkan. Penyebaran ini dilakukan melalui artikel ilmiah yang diterbitkan pada jurnal nasional terakreditasi. Selain itu, penyebaran juga dilakukan pada *conference* yang fokus pada penelitian pendidikan.

3.3 Instrumen Penelitian

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan instrumen penelitian sebagai berikut.

a) Angket analisis kebutuhan

Angket ini digunakan untuk melakukan analisis kebutuhan pengembangan LKPD pada guru dan peserta didik. Angket dikirimkan melalui *Google Form* kepada guru dan peserta didik pada jenjang SMA

b) Skala

Skala dalam penelitian ini terdiri dari skala validitas dan kepraktisan. Skala validitas akan diisi oleh dosen pendidikan fisika sedangkan Skala kepraktisan akan diisi oleh pendidik fisika dengan kriteria telah menyelesaikan pendidikan S2 dan bersertifikat pendidik. Tabel 10 menunjukkan komponen dari uji ahli. Pengisian skala ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelayakan produk sehingga dapat digunakan guru. Penskoran pada skala validasi ini menggunakan skala Likert yang diadaptasi dari Ratumanan & Laurent (2011) yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Skala Likert pada skala Validasi dan Kepraktisan

Pilihan Jawaban	Skor
Sangat Sesuai	4
Sesuai	3
Kurang Sesuai	2
Tidak Sesuai	1

c) Soal *pretest* dan *posttest*

Soal *pretest* dan *posttest* digunakan untuk menguji pemahaman peserta didik tentang topik perubahan iklim. Soal tersebut diberikan di awal dan akhir perlakuan pada kelas kontrol dan kelas eksperiman. Soal diadaptasi dari instrumen yang dikembangkan oleh Atmaja & Nopitasari (2020), dimana instrumen tersebut dikembangkan dengan indikator-indikator keterampilan berpikir komputasi. Tabel 12 menunjukkan indikator soal berpikir komputasi untuk topik perubahan iklim.

Tabel 12. Indikator Soal Tes Keterampilan Berpikir Komputasi

Indikator	Indikator soal
<i>Problem Decomposition</i>	Menentukan hubungan antara variabel dalam konteks perubahan iklim.
	Membandingkan beberapa faktor penyebab perubahan iklim dan menentukan faktor yang paling berkontribusi terhadap terjadinya perubahan iklim.
<i>Abstraction</i>	Mendefinisikan arti "efek rumah kaca" dalam konteks perubahan iklim.
	Menyebutkan pengaruh perubahan iklim pada ekosistem dan lingkungan hidup
	Menyebutkan manfaat kota hijau dalam mengurangi dampak perubahan iklim
	Mengevaluasi suatu model atau sistem yang direpresentasikan secara abstrak.
<i>Algorithms</i>	Menentukan langkah-langkah membuat <i>heatbox</i> sebagai model rumah kaca
	Memilih langkah yang perlu dilakukan untuk mengumpulkan data untuk penelitian tentang pola perubahan ketinggian permukaan air laut.
<i>Automation</i>	Memprediksi kondisi curah hujan dan suhu berdasarkan tabel rata-rata curah hujan dan suhu dalam 10 tahun terakhir

Indikator	Indikator soal
	Mengevaluasi keefektifan penggunaan teknologi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.
<i>Generalization</i>	Mengevaluasi dampak kebijakan terhadap perubahan iklim.
	Merencanakan solusi yang efektif dan berdampak positif jangka panjang dalam mengurangi emisi karbon di lingkungan sekolah

Sementara itu, untuk mengetahui keterampilan *creative thinking skill* peserta didik pada awal dan akhir perlakuan, diberikan soal yang diadaptasi dari Siswanto & Yusuf (2022). Tabel 13 menunjukkan indikator soal berpikir *creative problem solving* untuk topik perubahan iklim.

Tabel 13. Indikator Soal Tes Keterampilan *Creative Problem Solving*

Indikator	Indikator soal
<i>Fact Finding</i>	Menentukan kota dengan peningkatan suhu rata-rata tertinggi berdasarkan tabel yang diberikan
	Membandingkan rentang suhu dari beberapa kota sehingga bisa menentukan kota yang memiliki suhu rata-rata paling stabil
<i>Fact Interpreting</i>	Membandingkan suhu rata-rata dari tabel yang diberikan
	Menghitung persentase kenaikan suhu rata-rata berdasarkan data yang disediakan oleh tabel
<i>Idea Finding</i>	Menemukan ide-ide yang dapat dilakukan untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan di Indonesia
	Menemukan ide-ide inovatif untuk mengurangi emisi gas rumah kaca

Indikator	Indikator soal
	Menemukan ide sumber daya alam yang bisa dimanfaatkan untuk energi terbarukan
<i>Idea Developing</i>	Mengembangkan ide kreatif untuk mengatasi perubahan iklim.
	Menemukan ide baru untuk mengatasi perubahan iklim
<i>Solution Generating</i>	Melakukan proses untuk menghasilkan ide solusi baru dan inovatif untuk mengatasi perubahan iklim
	Menentukan solusi terbaik untuk mengurangi dampak perubahan iklim
<i>Solution Evaluating</i>	Mengevaluasi solusi yang dihasilkan untuk mengatasi perubahan iklim
	Mengevaluasi solusi yang dihasilkan untuk mengatasi perubahan iklim

3.4 Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode campuran (*mixed method*), yaitu pernggabungan penelitian kualitatif dan kuantitatif (Fetters *et al.*, 2013) dengan teknik analisis data sebagai berikut.

3.4.1 Data Validitas

Penilaian kualitatif produk pengembangan perangkat pembelajaran dilakukan melalui skala validasi dan skala kepraktisan. Hasil penilaian dari validator berupa kualitas produk dikodekan dengan skala kualitatif kemudian dilakukan pengubahan nilai kualitatif menjadi nilai kuantitatif. Lalu peneliti melakukan rekapitulasi hasil penilaian ahli ke dalam tabel yang meliputi aspek penilaian (\bar{A}_i)

dan nilai total ($\overline{V_{ij}}$) untuk masing-masing validator. Peneliti lalu menentukan rata-rata nilai hasil validasi dari semua validator untuk setiap kriteria dengan rumus.

$$\overline{K_i} = \frac{\sum_{j=1}^n \overline{V_{ij}}}{n}$$

Keterangan:

$\overline{K_i}$ = rata-rata kriteria ke-i

$\overline{V_{ij}}$ = nilai hasil penilaian terhadap kriteria ke-I oleh validator ke-j

n = banyaknya validator

Lebih lanjut, peneliti menentukan rata-rata nilai untuk setiap aspek dengan rumus:

$$\overline{A_i} = \frac{\sum_{j=1}^n \overline{K_{ij}}}{n}$$

Keterangan:

$\overline{A_i}$ = rata-rata nilai untuk aspek ke-i

$\overline{K_{ij}}$ = rata-rata untuk aspek ke-i kriteria ke j

n = banyaknya kriteria

Kemudian peneliti mencari rata-rata total ($\overline{V_a}$) dengan rumus:

$$\overline{V_a} = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{A_i}}{n} \times 100\%$$

Keterangan:

$\overline{V_a}$ = rata-rata total

$\overline{A_i}$ = rata-rata untuk aspek ke-i

n = banyaknya aspek

Kemudian peneliti menentukan kategori validitas setiap kriteria ($\overline{K_i}$) atau rata-rata aspek ($\overline{A_i}$) atau rata-rata total ($\overline{V_a}$) dengan kategori validasi yang telah ditetapkan seperti Tabel 14.

Tabel 14. Kriteria Validitas LKPD

Nilai	Kriteria
$75\% \leq V \leq 100\%$	Sangat valid
$50\% \leq V < 75\%$	Valid
$25\% \leq V < 50\%$	Cukup Valid
$0 \leq V < 25\%$	Tidak Valid

(Trianto, 2010)

Peneliti menetapkan bahwa LKPD dikatakan valid apabila hasil persentase yang didapat lebih dari 61% sehingga bisa diuji kepraktisannya.

3.4.2 Data Kepraktisan

Untuk mengetahui kepraktisan dari LKPD yang dikembangkan, maka dilaksanakan uji kepraktisan dari LKPD. Kegiatan yang dilakukan dalam proses analisis data kepraktisan adalah sebagai berikut:

1. Hasil skala praktisan dari berupa data kepraktisan yang kemudian dikodekan dengan skala kualitatif dan dilakukan pengubahan nilai kualitatif menjadi nilai kuantitatif.
2. Hasil rekapitulasi data kepraktisan lalu dihitung rata-rata total dengan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{A}_i}{n}$$

Keterangan:

\bar{x} = rata-rata total

\bar{A}_i = nilai kriteria ke-i

n = banyaknya kriteria

3. Menentukan kategori keseluruhan kriteria dengan mencocokkan rata-rata total dengan kategori yang telah ditetapkan dengan kriteria nilai rata-rata dirujuk pada interval penentuan tingkat kepraktisan perangkat pembelajaran seperti pada Tabel 15.

Tabel 15. Kategori Tingkat Kepraktisan LKPD

Interval	Kategori
0,00 – 20,0%	Sangat rendah
20,0% – 40,0%	Rendah
40,0% – 60,0%	Cukup
60,0% – 80,0%	Tinggi
80,0% – 100%	Sangat tinggi

(Riduwan, 2009)

Peneliti menentukan bahwa LKPD dikatakan praktis ketika hasil persentase kepraktisan lebih dari 61% sehingga bisa diuji efektivitasnya dalam meningkatkan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*.

3.4.2. Data Validitas dan Reliabilitas Instrumen Tes Kemampuan Berpikir Komputasi dan *Creative Problem Solving*

1. Validitas Instrumen

Validitas instrumen mengacu pada tingkat kebenaran penafsiran skor tes (Rosidin *et al*, 2017). Uji validitas konstruk perlu dilakukan untuk membandingkan hasil output r_{xy} dengan r_{tabel} pada taraf signifikansi 5% dengan menetapkan derajat kebebasan terlebih dahulu, yaitu $df = N - 2$. Tabel kategori validitas lapangan berdasarkan perbandingan output r_{xy} dengan r_{tabel} dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Kriteria Kevalidan Instrumen tes

Interval	Kategori
$r_{xy} \geq r_{tabel}$	Valid
$r_{xy} \leq r_{tabel}$	Tidak Valid

2. Reliabilitas Instrumen

Uji reliabilitas digunakan untuk mengetahui taraf kepercayaan suatu tes. Suatu tes dikatakan memiliki taraf kepercayaan yang tinggi apabila tes tersebut dapat memberikan hasil yang tetap (Arikunto, 2021). Penelitian ini menggunakan sebuah tes yang diujicobakan satu kali. Reliabilitas tes diperoleh dari hasil 41 analisis menggunakan software AnatesV4, kemudian diklasifikasi dengan koefisien korelasi reliabilitas yang dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Kriteria Koefisien Korelasi

Interval	Kategori
$0,800 < r_{xy} \leq 1,000$	Sangat Tinggi
$0,600 < r_{xy} \leq 0,790$	Tinggi
$0,400 < r_{xy} \leq 0,590$	Cukup
$0,200 < r_{xy} \leq 0,390$	Rendah
$0,000 < r_{xy} \leq 0,190$	Sangat Rendah

3.4.3. Data Keefektifan

Data keefektifan didapatkan dari hasil pengerjaan *pretest* dan *posttest* pada peserta didik di kondisi yang sebenarnya. Peneliti menggunakan desain eksperimen *Non-equivalent Pretest – Posttest Control Group Design*. Peneliti menyiapkan kelas kontrol dan kelas eksperimen dimana kedua kelas akan mengerjakan *pretest* di awal pembelajaran topik perubahan iklim dan pencemaran lingkungan. Lalu mengerjakan *posttest* di akhir pembelajaran topik tersebut. Kelas kontrol akan

belajar dengan model pembelajaran *Learning Cycle Tipe 5E* tanpa penggunaan LKPD ESD, Sedangkan kelas eksperimen akan menggunakan model pembelajaran *Learning Cycle Tipe 5E* dengan LKPD ESD yang telah diuji kevalidan dan kepraktisannya.

Soal untuk menguji keterampilan berpikir komputasi berjumlah 12 dengan masing-masing soal bernilai 1. Sementara itu, untuk nilai keterampilan *creative problem solving*, jumlah soal adalah 13 dengan masing-masing soal bernilai 1. Selain itu, peneliti juga menghitung rata-rata keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* seluruh peserta didik dengan menggunakan rumus.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n A}{n}$$

Keterangan :

\bar{x} = Nilai rata-rata keterampilan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*

A = Jumlah skor total peserta didik

n = Jumlah peserta didik

Selain melakukan analisis data secara deskriptif. Peneliti juga melakukan analisis data statistik dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan sebagai uji prasyarat dalam menentukan pemilihan analisis statistik lebih lanjut. Hasil uji normalitas pada penelitian ini menunjukkan persebaran data pretest dan posttest berdistribusi normal atau tidak normal. Uji normalitas dalam penelitian ini menggunakan *software* SPSS melalui uji *one sample kolmogorov-smirnov* (Razali & Wah, 2011) dengan hipotesis sebagai berikut.

H₀ : Data terdistribusi secara normal

H₁ : Data tidak terdistribusi secara normal

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

(Suyatna, 2017)

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas digunakan pada nilai *pretest* kelas kontrol dan kelas eksperimen..

Uji yang dilakukan adalah *Independent Sample T Test* dengan meninjau *Levene's Test for Equality of Variences*. Hipotesis untuk uji ini adalah sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada perbedaan varian nilai *pretest* pada kelas eksperimen dan kontrol

H_1 : Ada perbedaan varian nilai *pretest* pada kelas eksperimen dan kontrol

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

(Suyatna, 2017)

3. Uji Beda Rata-rata

Uji beda rata-rata dilakukan untuk mengetahui adakah perbedaan nilai *pretest* dan *posttest* antara kelas kontrol dan kelas eksperimen. Uji yang digunakan adalah *Independent Sample T Test* dimana nilai *pretest* dan *posttest* keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* dianalisis dengan hipotesis sebagai berikut.

a) *Pretest*

Uji ini beda rata-rata pada *pretest* dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan pada rata-rata *pretest* kelas kontrol dan eksperimen, sehingga peneliti bisa menentukan apakah kelas kontrol dan eksperimen memiliki kemampuan awal yang sama.

- Keterampilan berpikir komputasi

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata skor *pretest* keterampilan berpikir komputasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

H_1 : Ada perbedaan rata-rata skor *pretest* keterampilan berpikir komputasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

- Keterampilan *creative problem solving*

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata skor *pretest* keterampilan *creative problem solving* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

H_1 : Ada perbedaan rata-rata skor *pretest* keterampilan *creative problem solving* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

b) *Posttest*

Uji beda rata-rata pada *posttest* dilakukan untuk mengetahui adakah perbedaan yang signifikan dari rata-rata *posttest* kelas kontrol dan eksperimen. Hasil uji ini membantu peneliti untuk bisa menentukan bahwa perbedaan tersebut merupakan akibat dari perbedaan perlakuan yang diberikan kepada kedua kelas sehingga peneliti bisa menyimpulkan efektif tidaknya penggunaan LKPD ESD.

- Keterampilan berpikir komputasi

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan berpikir komputasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

H_1 : Ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan berpikir komputasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

- Keterampilan *creative problem solving*

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan *creative problem solving* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

H_1 : Ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan *creative problem solving* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

4. Uji ANCOVA (*Analysis of Covariance*) dan *Effect Size*

Uji dampak ANCOVA dilakukan menggunakan Software SPSS untuk meninjau pengaruh perlakuan terhadap variabel dependen dengan mengontrol variabel lain (Field, 2009) Uji ini dilakukan melalui analisis analisis *general linear model-univariate*

Hipotesis yang digunakan dalam ANCOVA adalah sebagai berikut.

Keterampilan berpikir komputasi

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan berpikir komputasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

H_1 : Ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan berpikir komputasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

Keterampilan *creative problem solving*

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan *creative problem solving* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

H_1 : Ada perbedaan rata-rata skor *posttest* keterampilan *creative problem solving* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kriteria uji:

Nilai sig. atau probabilitas < 0.05 maka H_0 ditolak

Nilai sig. atau probabilitas > 0.05 maka H_0 diterima

Effect size dapat dilihat dari hasil uji dampak ANCOVA, mengukur besarnya efek penggunaan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* peserta didik. Nilai *Effect size* yang diperoleh, kemudian diinterpretasikan dengan kategori menurut Hake (1999) pada Tabel 18.

Tabel 18. Kriteria Nilai *Effect Size*

Nilai <i>Effect Size</i>	Kategori
$0 < d < 0,2$	Efek Kecil
$0,2 < d < 0,8$	Efek Sedang
$d > 0,8$	Efek Besar

Hake (1999)

5. *N-gain*

Selanjutnya, peneliti menghitung skor gain ternormalisasi (*N-gain*) untuk masing-masing indikator keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan yang terjadi pada masing-masing indikator tersebut sehingga peneliti bisa menelaah lebih keterkaitan penerapan LKPD ESD dengan peningkatan keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*. *N-gain* akan dihitung dengan rumus sebagai berikut.

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

dengan S_{pre} = skor pre-test; S_{post} = skor post-test; S_{max} = skor maksimum.

Hasil *N-Gain* tersebut kemudian diinterpretasikan dengan kategori pada Tabel 19.

Tabel 19. Kategori Nilai *N-Gain*

Nilai <i>N-Gain</i>	Kategori
$0 < 0,3$	Rendah
$0,3 - 0,7$	Sedang
$> 0,7$	Tinggi

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data hasil penelitian dan pembahasan tentang pengembangan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* yang dikembangkan mengandung permasalahan tentang bencana alam akibat perubahan iklim, aktivitas untuk mendefinisikan dan mencari solusi penanggulangan bencana alam akibat perubahan iklim, serta aktivitas komputasi dengan memanfaatkan *Micro:bit*. LKPD tersebut juga memiliki karakteristik berupa penerapan kerangka UbD yakni W= menetapkan kriteria pembuatan sensor, H= berkolaborasi untuk menyelesaikan aktivitas & tantangan, E1= melakukan eksplorasi mandiri tentang bencana alam, R= melakukan presentasi dan saling memberikan umpan balik, E2= mengevaluasi sensor yang telah dibuat, T= membuat sensor sesuai dengan minat, serta O= mengorganisasikan waktu dan langkah pembuatan sensor. LKPD tersebut juga memiliki simbol-simbol pada tiap bagian pertanyaan untuk mengetahui keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* yang dilatihkan. LKPD tersebut dinyatakan layak untuk diimplementasikan berdasarkan hasil uji validasi konten, konstruk, bahasa, dan desain. Dimensi konten memperoleh penilaian "Sangat Valid" dengan persentase 84,3%, dimensi Konstruk juga menunjukkan hasil yang positif dengan persentase 79.17% dengan kategori "Sangat Valid", dimensi Bahasa mencapai rata-rata persentase sebesar 85.90% dengan kategori "Sangat Valid", dan dimensi Desain menunjukkan "Sangat Valid" dengan rata-rata persentase sebesar 95.18%,

2. LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* yang dikembangkan dinyatakan praktis untuk diimplementasikan berdasarkan hasil uji Keterbacaan, Kemenarikan, dan Keterlaksanaan. Aspek keterbacaan mendapat nilai persentase 81,6% dengan kategori “Sangat Tinggi”, aspek kemenarikan memperoleh persentase 82,4% dengan kategori “Sangat Tinggi”, dan aspek keterlaksanaan mendapat persentase 84,7% dengan kategori “Sangat Tinggi”.
3. LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* yang dikembangkan dinyatakan efektif untuk melatih keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving*. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji beda rata-rata yang menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan rata-rata *posttest* keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* kelas kontrol dengan kelas eksperimen, dimana kelas eksperimen memiliki rata-rata *posttest* lebih besar daripada kelas kontrol. Dampak pada peningkatan keterampilan berpikir komputasi sebesar 58,7% dengan kategori sedang dan dampak pada peningkatan *creative problem solving* sebesar 33,1% dengan kategori sedang.

5.2. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Guru/ Peneliti lain dapat menerapkan LKPD ESD berbasis UbD dengan menggunakan aktivitas komputasi lainnya seperti pembuatan sensor dengan memanfaatkan *Arduino*, *Raspberry Pi*, atau bahkan aplikasi pemrograman seperti *Scratch* untuk menciptakan aktivitas yang menarik dan bermakna bagi peserta didik dengan biaya yang lebih terjangkau.
2. Peneliti yang akan menerapkan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* harus memberikan aktivitas yang lebih banyak untuk melatih atau membiasakan peserta didik menggunakan *Micro:bit*

3. Guru/ Peneliti lain yang akan menerapkan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* harus memastikan proses diskusi dan pelaksanaan aktivitas di dalam LKPD dilakukan secara kolaboratif dan sungguh-sungguh agar keterampilan berpikir komputasi dan *creative problem solving* dapat terlatih dengan baik.
4. Guru/ Peneliti lain yang akan menerapkan LKPD ESD berbasis UbD berbantuan *Micro:bit* harus menyiapkan dan memastikan bahwa alat dan bahan yang dibutuhkan dalam membuat sensor bencana alam bisa digunakan dengan baik serta memastikan peserta didik memiliki jaringan koneksi internet yang baik mereka bisa melakukan aktivitas pemrograman dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Agbedahin, A. V. (2019). Sustainable development, Education for Sustainable Development, and the 2030 Agenda for Sustainable Development: Emergence, efficacy, eminence, and future. *Sustainable Development*, 27(4), 669-680
- Al-Assaf, H. A., & Ahmad, FAROB (2020). The effectiveness of Instructional Software in Addressing the Impact of COVID 19 on 10th Grade Students' Achievement in Biology in Jordan. *PSYCHOLOGY AND EDUCATION*, 57(6), 406-411. <https://doi.org/10.2196/preprints.21696>
- Al Mubarak, M. (2021). Sustainable development through five senses of effective corporate social responsibility strategy. *Social Responsibility Journal*, 17(6), 829-839.
- Al-Tonsi, H. (2019). Applying understanding by design (ubd) in education 2.0. 488-452, (25)25, مجلة كلية التربية بـورسعيد, <https://doi.org/10.21608/jftp.2019.41691>
- Albayrak, E. and Ozden, S. (2021). Improvement of pre-service teachers' computational thinking skills through an educational technology course. *Journal of Individual Differences in Education*, 3(2), 97-112. <https://doi.org/10.47156/jide.1027431>
- Alekseev, G. A. (2020). Solution generating methods as "coordinate" transformations in the solution spaces. arXiv preprint arXiv:2012.13462. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2012.13462>
- Almasaeid, T. (2017). The impact of using understanding by design (ubd) model on 8th-grade student's achievement in science. *European Scientific Journal Esj*, 13(4), 301-315. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n4p301>
- Alqurashi, E. and Vogel, D. (2021). Social media in higher education: A literature review and research directions. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 14(1), 1-14.
- Arifin, A. M., & Nurhayati, A. (2021). Design of Flood Warning System with Micro:bit as Early Warning of Flood. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 30(5s), 4244-4254.
- Arikunto, S. (2021). *Penelitian tindakan kelas: Edisi revisi*. Bumi Aksara.

- Atmaja, W. B., & Nopitasari, R. (2020). Developing a Computational Thinking Skills Test in the Context of Global Warming and Climate Change. *Journal of Physics: Conference Series*, 1577(1), 22-38. doi: 10.1088/1742-6596/1577/1/012038
- Bailey, F. and Fahad, A. (2021). krashen revisited: case study of the role of input, motivation and identity in second language learning. *Arab World English Journal*, 12(2), 540-550. <https://doi.org/10.24093/awej/vol12no2.36>
- Batool, T. and Akhter, M. (2019). feedback effect on secondary school students achievement in mathematics. *Global Social Sciences Review*, 4(3), 88-95. [https://doi.org/10.31703/gssr.2019\(iv-iii\).12](https://doi.org/10.31703/gssr.2019(iv-iii).12)
- Batul, F. A., Pambudi, D. S., & Prihandoko, A. C. (2022). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model SSCS dengan Pendekatan RME dan Pengaruhnya Terhadap Kemampuan Berpikir Komputasional. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 11(2), 1282-1296.
- Bedore, L., Peña, E., Fiestas, C., & Lugo-Neris, M. (2020). language and literacy together: supporting grammatical development in dual language learners with risk for language and learning difficulties. *language Speech and Hearing Services in Schools*, 51(2), 282-297. https://doi.org/10.1044/2020_lshss-19-00055
- Bybee, R. W. (2014). The 5E instructional model: Personal reflections and contemporary implications. *Science & Education*, 23(6), 1313-1337.
- Cahyono, T. H., Sumardi, I., & Sutiarmo, S. (2021). UbD-LKPD Integrated Instruction Model: Its Effectiveness on Students' Learning Outcomes and Self-Efficacy in Mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1803(1), 12-19. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1803/1/012109>
- Çalışkan, Ü., Çağiltay, G., & İnceoğlu, İ. (2022). The Effects of Using UbD Approach on the Creativity and Science Process Skills of High School Students in Nuclear Energy Topic. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(3), 16-31. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11631>
- Chaikovska, H., & Levchyk, I. (2022). Interdisciplinary integration of education for sustainable development into higher education institution (integrated ESP case study). *Zhytomyr Ivan Franko state university journal. Pedagogical sciences*, (2 (109)), 195-211.
- Cipta, H., Suwilo, S., Sutarman, S., & Mawengkang, H. (2023). The solution of structure constrained problem using decomposition method. *Journal of Physics Conference Series*, 2421(1), 12-24. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2421/1/012004>
- D'Angelo, T. L., Thoron, A. C., & Bunch, J. C. (2019). What is Understanding By Design (UbD)? AEC-659/WC322, 1/2019. *EDIS*, 2019(1).

- Del Cerro Velazquez, F., & Lozano Rivas, F. (2020). Education for sustainable development in STEM (technical drawing): Learning approach and method for SDG 11 in classrooms. *Sustainability*, 12(7), 27-36.
- Dogan, Y. (2021). Examining the effect of 5E learning cycle on students' critical thinking skills in science education. *Journal of Education and Practice*, 12(3), 1-8.
- Endrejat, P., Meinecke, A., & Kauffeld, S. (2019). It all starts with a good idea: a new coding system for analyzing idea finding interactions (aifi). Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences, 12(1), 305-314. <https://doi.org/10.24251/hicss.2019.038>
- Efendiev, Y., & Vabishchevich, P. N. (2021). Splitting methods for solution decomposition in nonstationary problems. *Applied Mathematics and Computation*, 397(1), 57-75. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2008.08111>
- Ethington, A., Spriggs, A., Shepley, S., & Bausch, M. (2021). Behavior skills training for teaching and generalizing self-instruction skills for students with intellectual disability. *Journal of Intellectual Disabilities*, 26(2), 319-336. <https://doi.org/10.1177/1744629521995349>
- Fang, K., Zhu, Y., Savarese, S., & Fei-Fei, L. (2021). Discovering generalizable skills via automated generation of diverse tasks. arXiv preprint, 21(6), 30-12. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2106.13935>
- Feng, J. (2023). Research on large unit teaching design based on the “ubd” theory from the perspective of chinese core literacy. *Research and Advances in Education*, 2(2), 66-68. <https://doi.org/10.56397/rae.2023.02.08>
- Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs—principles and practices. *Health services research*, 48(6pt2), 2134-2156.
- Firdaus, R., Sakethi, D., & Rosman, F. (2016). Rancang bangun sistem informasi perpustakaan berbasis web. *Jurnal Komputasi*, 3(1).
- Fithriyah, N. (2021). Fostering students' positive attitude towards reading comprehension through readworks. Proceedings of the International Seminar on Language, Education, and Culture (ISoLEC 2021), 612(1), 236-241. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211212.044>
- Giri, N. P. Gupta, and A. Agrawal (2020). “Design and Implementation of Wireless Sensor Network Using Micro:bit and Raspberry Pi,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 167, pp. 33–41, doi: 10.1016/j.procs.2020.03.003.
- Gloria, R. Y., Sudarmin, S., & Indriyanti, D. R. (2018, March). The effectiveness of formative assessment with understanding by design (UbD) stages in forming habits of mind in prospective teachers. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 983, No. 1, p. 012158). IOP Publishing.

- González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st century skills frameworks: systematic review. *Sustainability*, 14(3), 14-23.
- Gruber, J. and Hargittai, E. (2023). The importance of algorithm skills for informed internet use. *Big Data & Society*, 10(1), 205-215.
<https://doi.org/10.1177/20539517231168100>
- Hake, R. R. (1999). analyzing change/gain scores. American Educational Research Association. [online] tersedia di:
<http://www.physics.indiana.edu/~sdi/AnalyzingChange-Gain.pdf>.
- Handayani, N., Fitriani, A. I., & Nurhadi, D. (2020). The Effectiveness of the STEM-Based Learning with Computational Thinking Approach to Improve Students' Problem Solving Skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(4), 28-42.
- Handayani, R., Prastowo, S., Prihandono, T., Nuraini, L., Supriadi, B., Maryani, M., ... & Mahardika, I. (2022). computational thinking: students' abstraction on the concepts of kinematics. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 8(1), 114-118. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i1.1188>
- He, X., Zhang, J., Liu, J., & Chen, X. (2020). A Computational Thinking-Based Learning Approach to Improving the Creative Problem-Solving Ability of College Students. *Frontiers in Psychology*, 11, 583-592.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.583592>
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., ... & Mittelstrass, J. (2018). Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In *Global Warming of 1.5°C*
- Hung, N. (2014). Using ideas from connectivism for designing new learning models in vietnam. *International Journal of information and Education Technology*, 22(1), 76-82. <https://doi.org/10.7763/ijiet.2014.v4.373>
- Indriyanti, D., Suwahyu, A., & Setiawan, D. (2020). Analysis of the effectiveness of LKPD (Lembar Kerja Peserta Didik) for elementary school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1462(1), 32-47.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1462/1/012047>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR6.*
- Jeong, J., Kim, J., Son, H., & Nam, D. I. (2020). The role of venture capital investment in startups' sustainable growth and performance: Focusing on absorptive capacity and venture capitalists' reputation. *Sustainability*, 12(8), 34-47.

- Jia, J., Zhang, X., Sun, L., & Wei, Y. (2020). The Application of Micro:bit in Teaching Motion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1570(2), 22-47. doi: 10.1088/1742-6596/1570/2/022047
- Jurczuk, A. and Florea, A. (2022). Future-oriented digital skills for process design and automation. *Human Technology*, 18(2), 122-142. <https://doi.org/10.14254/1795-6889.2022.18-2.3>
- Kablan, Z. and Günen, A. (2021). the relationship between students' reflective thinking skills and levels of solving routine and non-routine science problems. *Science Education International*, 32(1), 55-62. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i1.6>
- Kakihiana, T., Kiriya, H., Sugimoto, M., Machida, M., Inoue, T., Ikeno, F., ... & Ono, M. (2022). Cultivating design thinking skills through the biodesign process in japan. *BMJ Innovations*, 8(4), 273-277. <https://doi.org/10.1136/bmjinnov-2021-000923>
- Kalaf-Hughes, N. (2022). Promoting information literacy and visual literacy skills in undergraduate students using infographics. *Political Science and Politics*, 56(2), 321-327. <https://doi.org/10.1017/s1049096522001214>
- Kocaman, B. (2022). Investigating secondary school students' level of 21st century skills. *Asian Research Journal of Arts & Social Sciences*, 23(2), 1-10. <https://doi.org/10.9734/arjass/2022/v17i330306>
- Kop, R. and Hill, A. (2019). Connectivism: Learning theory and pedagogical practice for networked information landscapes. In Information Science Reference (Ed.), *Encyclopedia of Information Science and Technology*, 4th ed. IGI Global.
- Kuntari, F. R., Rondonuwu, F. S., & Sudjito, D. N. (2019). Understanding by Design (UbD) for the Physics Learning about Parabolic Motion. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 9(1), 32-43.
- Lai, Y. (2023). Learning efficacy of understanding by design-internet of things (ubd-iot) education integrated with design thinking and computational thinking. *Library Hi Tech*, 23(3), 112-123.. <https://doi.org/10.1108/lht-01-2023-0002>
- Li, Y., Li, X., Cai, H., Li, Y., Li, X., & Li, J. (2021). A Micro:bit-Based Physics Experiment Simulation Software for Better Learning Effects. *IEEE Access*, 9, 77897-77905. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3087884
- Lichtman, K. and VanPatten, B. (2021). Was krashen right? forty years later. *Foreign language Annals*, 54(2), 283-305. <https://doi.org/10.1111/flan.12552>
- Ma, S. and Chen, L. (2022). Digitalization and quantitative flow visualization of surrounding flow over a specially-shaped column-frame by luminescent mini-

- tufts method. *Aerospace*, 9(9), 507.
<https://doi.org/10.3390/aerospace9090507>
- Mahfudzoh, A.. (2020). Development and Implementation of Physics Learning Materials Based on Understanding by Design (UbD) to Improve Students' Creative Thinking Skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(2), 22-34.
- Malhotra, B., Sahoo, J., Gupta, M., & Joshi, A. (2022). the design, development, and implementation of a web-enabled informatics platform to enhance the well-being of individuals aged 18-24 years: protocol for an experimental study (preprint). *Journal of Medical Internet Research*, 113(2), 101-112.
<https://doi.org/10.2196/preprints.38632>
- Milrad, M., Spikol, D., & Hatakka, M. (2021). Developing Computational Thinking Skills through Gamification and Physical Computing. *Journal of Educational Computing Research*, 59(1), 85-111. doi: 10.1177/0735633120965300
- Miranda, D., Marmawi, R., Linarsih, A., & Amalia, A. (2022). Pengenalan Keterampilan Literasi Digital pada Anak Usia Dini. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 4(3), 3844-3851.
- Mulyono, N., Nurtanto, M., & Suciati, N. (2021). Exploring Computational Thinking Skills in Solving Mathematical Problems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1730(1), 012009. doi: 10.1088/1742-6596/1730/1/012009
- Ndawo, G. (2022). the development of self skills in an authentic learning environment: a qualitative study. *Curationis*, 45(1), 33-44
<https://doi.org/10.4102/curationis.v45i1.2198>
- Nguyen-An, H., Silverston, T., Yamazaki, T., & Miyoshi, T. (2021). iot traffic: modeling and measurement experiments. *iot*, 2(1), 140-162.
<https://doi.org/10.3390/iot2010008>
- Nguyen, T. P. L., Nguyen, T. H., & Tran, T. K. (2020). STEM education in secondary schools: Teachers' perspective towards sustainable development. *Sustainability*, 12(21), 65-88.
- Nguyen, S. and Habók, A. (2021). Designing and validating the learner autonomy perception questionnaire. *Heliyon*, 7(4), 68-78.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06831>
- Niu, J., & Lai, C.-L. (2022). The Development of the Micro:bit Creative Problem-Solving Teaching Material for Enhancing Students' Computational Thinking and Creativity. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 15(2), 47-62. <https://doi.org/10.1142/S1793252722500041>
- Nousheen, A., Zai, S. A. Y., Waseem, M., & Khan, S. A. (2020). Education for sustainable development (ESD): Effects of sustainability education on pre-

- service teachers' attitude towards sustainable development (SD). *Journal of Cleaner Production*, 25(3), 119-137.
- Nugroho, S. E., Sutarno, S., & Rustaman, N. Y. (2021). Integrating computational thinking in mathematical learning to enhance higher-order thinking skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1776(1), 12-23. doi: 10.1088/1742-6596/1776/1/012001
- Nuryanti, T. D., Yasin, R. M., & Setyawan, D. (2021). The development of an ESD module through online learning to improve students' environmental awareness. *Journal of Physics: Conference Series*, 1734(1), 68-78.
- Oluk, A. and Cakir, R. (2021). The effect of code. org activities on computational thinking and algorithm development skills. *Journal of Teacher Education and Lifelong Learning*, 3(2), 32-40. <https://doi.org/10.51535/tell.960476>
- Omata, K. and Imai, S. (2022). An exploratory study on pbl lessons using iot teaching materials in elementary schools. *Information and Technology in Education and Learning*, 2(1), 77-87.. <https://doi.org/10.12937/itel.2.1.trans.p009>
- Omelchenko, L. (2022). Didactic possibilities of critical thinking strategies as a tool for implementing media education technology for developing key skills of students. *Scientific Bulletin of Mukachevo State University Series "Pedagogy and Psychology"*, 7(4), 30-36. [https://doi.org/10.52534/msu-pp.7\(4\).2021.30-36](https://doi.org/10.52534/msu-pp.7(4).2021.30-36)
- Ouyang, F., Si, C., & Xu, L. (2021). Effect of three network visualizations on students' social-cognitive engagement in online discussions. *British Journal of Educational Technology*, 52(6), 2242-2262. <https://doi.org/10.1111/bjet.13126>
- Olimov, S. S., & Mamurova, D. I. (2022). Information Technology in Education. *Pioneer: Journal of Advanced Research and Scientific Progress*, 1(1), 17-22.
- OZYURT, M., KAN, H., & KIYIKCI, A. (2021). The Effectiveness of Understanding by Design Model in Science Teaching: A Quasi-experimental Study. *Eurasian Journal of Educational Research*, 21(94), 1–24. <https://doi.org/10.14689/ejer.2021.94.1>
- Paganelli, F., Mylonas, G., Cuffaro, G., & Nesi, I. (2019). Experiences from using gamification and iot-based educational tools in high schools towards energy savings, 30(2), 75-91. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34255-5_6
- Parrish-Sprowl, J., Ziberi, L., & Parrish-Sprowl, S. (2023). Editorial: complexity-based approaches in health communication. *Frontiers in Communication*, 8(2), 216-226. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2023.1115983>

- Pramesti, N. and Dewi, L. (2023). The implementation of understanding by design approach in mathematics learning on elementary school. (Jiml) *Journal of Innovative Mathematics Learning*, 6(2), 124-131.
<https://doi.org/10.22460/jiml.v6i2.16304>
- Pelling, M., Spence, R., & O'Brien, G. (2020). Urban flooding and climate change: interpreting the IPCC's latest special report. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 62(4), 26-36.
- Pangesti, H., Sujana, A., & Setyawan, D. (2021). The effect of LKPD with the 5E learning cycle model on science process skills and environmental attitudes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1734(1), 97-110.
- Pertiwi, S., Sudjito, D. N., & Rondonuwu, F. S. (2019). Perancangan Pembelajaran Fisika tentang Rangkaian Seri dan Paralel untuk Resistor Menggunakan Understanding by Design (UbD). *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 2(1), 1-7.
- Prabawani, B., Hadi, S. P., Zen, I. S., Afrizal, T., & Purbawati, D. (2020). Education for sustainable development as diffusion of innovation of secondary school students. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 22(1), 84-97.
- Plomp, T., & Nieveen, N. (Eds.). (2010). An introduction to educational design research. SLO Netherlands Institute for Curriculum Development.
- Qusay, F. H. (2020). The Effect of Computational Thinking-based Activities on Students' Problem Solving Skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(3), 32-41. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/3/032031>
- Rahmadhani, D. F., & Nurhayati, M. (2021). Design of Forest Fire Early Warning System based on Internet of Things. *International Journal of Computer Applications*, 182(10), 1-7.
- Rahman, F., & Kartika, A. (2021). The development of students' worksheet based on digital storytelling on human digestive system in junior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1801(1), 12-27.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1801/1/012007>
- Ratumanan, G.T. & Laurens, T. 2011. Evaluasi Hasil Belajar pada Tingkat Satuan Pendidikan. Surabaya: UNESA University Press
- Ravenscroft, A. (2011). Dialogue and connectivism: a new approach to understanding and promoting dialogue-rich networked learning. *the International Review of Research in Open and Distributed learning*, 12(3), 139-152. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v12i3.934>
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33.

- Riduwan. (2009). *Metode dan Teknik Menyusun Tesis*. Bandung: Alfabeta.
- Rosidin, U., Gustina, S. G., R., & Nyeneng, I. D. P. N. (2017). Pengembangan Instrumen Performance Assessment Fisika pada Pembelajaran Laboratorium Berbasis KIT IPA. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 5(2), 76-88
- Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2019). The standard definition of creativity. *Creativity Research Journal*, 31(3), 211-216.
- Saputra, G. and Subali, B. (2019). Effectiveness comparison of guided discovery and semi-guided discovery learning models toward the fact-finding skill on plantae material. *Jurnal Bioedukatika*, 7(2), 115-127.
<https://doi.org/10.26555/bioedukatika.v7i2.12547>
- Saragih, S., & Syahrial, A. (2021). The effectiveness of student worksheets on dynamic electricity material in improving learning outcomes of senior high school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1823(1), 12-25. doi: 10.1088/1742-6596/1823/1/012045
- Sartono, B., Lestari, N. P., & Ratnawati, A. (2019). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis Computational Thinking untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematika Siswa SMP. *Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika*, 1(2), 132-141.
<https://doi.org/10.22460/inopmat.v1i2.p132-141>.
- Sarro, F., Moussa, R., Petrozziello, A., & Harman, M. (2022). learning from mistakes: machine learning enhanced human expert effort estimates. *Ieee Transactions on Software Engineering*, 48(6), 1868-1882.
<https://doi.org/10.1109/tse.2020.3040793>
- Schmelzing, S., Crivello, G., & Jucker, R. (2020). Mainstreaming Education for Sustainable Development at Schools: *Perspectives from Teacher Educators. Sustainability*, 12(18), 74-91.
- Scott, J., Mendez, R., & Carter, S. (2018). Micro: bit in the Classroom: Developing Student Interest and Skills in STEM. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 6(4), 320-327.
- Sekkal, H., Amrous, N., & Bennani, S. (2022). Knowledge graph-based method for solutions detection and evaluation in an online problem-solving community. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (Ijece)*, 12(6), 50-63. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i6.pp6350-6362>
- Setiawan, D., Putra, E. M., & Prihatmanto, A. S. (2021). The Development of Physics Learning Module Based on 5E Learning Cycle Model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1776(1), 12-24. doi: 10.1088/1742-6596/1776/1/012024
- Shanmugam, K. (2023). Investigating the impact of computer-assisted language learning (call) on english as a second language (esl) instruction in the

classroom. *Journal of Humanities and Education Development*, 8(4), 1-8.
<https://doi.org/10.22161/jhed.5.4.1>

- Siemens, G. (2004). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3-10.
- Sinakou, E., Boeve-de Pauw, J., & Van Petegem, P. (2019). Exploring the concept of sustainable development within education for sustainable development: implications for ESD research and practice. *Environment, development and sustainability*, 21(1), 1-10.
- Sink, C. and Mvududu, N. (2010). statistical power, sampling, and effect sizes. *Counseling Outcome Research and Evaluation*, 1(2), 1-18.
<https://doi.org/10.1177/2150137810373613>
- Siswanto, E., & Yusuf, M. (2022). Development of a creative problem solving test instrument on climate change and global warming for junior high school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1920(1), 12-27.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1920/1/012027>
- Sopandi, A., Permanasari, A., & Pursitasari, I. (2022). Improving student's skills and concept understanding in vibration and waves with the use of visual media concepts on students. *Journal of Science Education and Practice*, 6(1), 35-50. <https://doi.org/10.33751/jsep.v6i1.5689>
- Steinfurth, B., Cura, C., Gehring, J., & Weiss, J. (2020). tuft deflection velocimetry: a simple method to extract quantitative flow field information. *Experiments in Fluids*, 61(6), 88-102. <https://doi.org/10.1007/s00348-020-02979-7>
- Studer, M. E., & Berset, M. (2020). Motivation and creativity at work: A review. *Journal of Personnel Psychology*, 19(2), 68-76.
- Sujo-Montes, L., Blanco-Fernández, Y., Torrado-Morales, S., and Carballido-Rebollar, A. (2020). Project-based learning and its impact on critical and creative thinking skills: A systematic review. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 9(1), 22-29.
- Su, S.-W., & Liao, S.-C. (2020). Using Micro:bit to Enhance Computational Thinking in K-12 Education. *2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), 23(1), 70-76
- Supahar, S., & Nuraini, N. (2019). The development of physics student worksheet (LKPD) based on scientific approach to improve student's critical thinking skills in geometry optics material. *Journal of Physics: Conference Series*, 1317(1), 12-25. doi: 10.1088/1742-6596/1317/1/012050

- Suseno, E., Susongko, P., & Apriani, D. (2021). messick validation on the simulation test of national exam using rasch model.. <https://doi.org/10.4108/eai.30-11-2020.2303711>
- Suyatna, Agus. (2017). UJI STATISTIK BERBANTUAN SPSS UNTUK PENELITIAN PENDIDIKAN Menggunakan Pendekatan Kasus Penelitian Pendidikan.
- Tang, M., Sun, Y., Li, J., Zhang, W., & Liu, X. (2021). A longitudinal study of the impact of organizational support on employee creativity: The mediating role of autonomous motivation. *Frontiers in Psychology*, 12, 682212.
- Tay, H. and Lam, K. (2022). students' engagement across a typology of teacher feedback practices. *Educational Research for Policy and Practice*, 21(3), 427-445. <https://doi.org/10.1007/s10671-022-09315-2>
- Thiagarajan, S. (1974). Instructional development for training teachers of exceptional children: A sourcebook.
- Toda, A., Isotani, S., Sugimoto, K., & Inoue, Y. (2019). The effect of using micro:bit on science learning in Japan. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 14(14), 198-216.
- Treffinger, D. J., & Isaksen, S. G. (2005). Creative problem solving: The history, development, and implications for gifted education and talent development. *Roeper Review*, 27(4), 207-213.
- Trianto. 2010. Mendesain Model Pembelajaran Inovatif Progresif. Jakarta: Kencana.
- Tschofen, C. and Mackness, J. (2012). connectivism and dimensions of individual experience. *the International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 13(1), 124. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v13i1.1143>
- Tshering, S. (2022). The impact of using understanding by design (ubd) model on class 10 student's achievement in chemistry. *International Journal of Chemistry Education Research*, 29-33. <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol6.iss1.art4>
- Turner, R. (2021). Computational abstraction. *Entropy*, 23(2), 213-223. <https://doi.org/10.3390/e23020213>
- Udayani, N., Wibawa, I., & Rati, N. (2021). Development of e-comic learning media on the topic of the human digestive system. *Journal of Education Technology*, 5(3). <https://doi.org/10.23887/jet.v5i3.34732>
- Uluçınar, U. (2021). Findings of qualitative studies on understanding by design: a meta-synthesis. *Uluslararası Eğitim Programları Ve Öğretim Çalışmaları Dergisi*, 11(2), 167-194. <https://doi.org/10.31704/ijocis.2021.009>

- Umbua, L. (2021). Using technology, hands-on, and fieldwork activity for globe learning in secondary school. *Journal of Physics Conference Series*, 1957(1), 12-24. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1957/1/012024>
- UNESCO. (2020). Education for sustainable development. Diakses melalui laman <https://en.unesco.org/themes/education-sustainable-development> pada tanggal 2 Maret 2023.
- Utomo, A. W., & Sunarno, W. (2020). Development of computational thinking-based learning model to improve students' problem-solving ability in mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(3), 32-43. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/3/032070>
- Wang, S., & Chen, H. (2020). Environmental Education Curriculum in STEM Education: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12(22), 45-57.
- Wider, C. and Wider, W. (2023). Effects of metacognitive skills on physics problem -solving skills among form four secondary school students. *Journal of Baltic Science Education*, 22(2), 357-369. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.257>
- Wiggins, G., Wiggins, G. P., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design*. Alexandria: Association for Supervision and Curriculum Development ASCD.
- Wilhelm, S., Förster, R., & Zimmermann, A. B. (2019). Implementing competence orientation: Towards constructively aligned education for sustainable development in university-level teaching-and-learning. *Sustainability*, 11(7), 78-91.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35. doi: 10.1145/1118178.1118215
- Won, N., Liu, K., & Bukko, D. (2019). Developing instructional skills: perspectives of feedback in student teaching. *Networks an Online Journal for Teacher Research*, 21(2), 89-103. <https://doi.org/10.4148/2470-6353.1303>
- Wulandari, A. (2018). Development of scientific-based LKPD on human excretory system material. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 7(2), 227-234.
- Yulianti, D., & Wati, Y. L. (2020). The Effect of Physics Learning Based on 5E Learning Cycle Model on Students' Interest and Learning Motivation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1471(1), 76-88. doi: 10.1088/1742-6596/1471/1/012076
- Yusuf, A. M., Hidayat, S., & Tauhidah, D. (2022). Hubungan Literasi Digital dan Saintifik dengan Hasil Belajar Kognitif Biologi Siswa SMA. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 5(1), 8-16.

- Yusuf, I., & Hamidah, N. (2021). Development of student worksheets based on authentic assessment on the material of heat and temperature to improve critical thinking skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1792(1), 12-21. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1792/1/012090>
- Zeng, W., Dong, A., Chen, X., & Cheng, Z. (2020). Vistory: interactive storyboard for exploring visual information in scientific publications. *Journal of visualization*, 24(1), 69-84. <https://doi.org/10.1007/s12650-020-00688-1>
- Zhang, Y., Inamura, T., Ito, S., & Cruz, C. (2021). A study on the communication method for online participatory design workshop. *Proceedings of the 23rd International Conference on Engineering and Product Design Education*, 23(1), 70-76. <https://doi.org/10.35199/epde.2021.48>