

**PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN
BERBASIS TPACK UNTUK Mendukung *EDUCATION FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ESD)***

SKRIPSI

oleh

RA Lutfiah Az-Zahra

NIM: 06091282126020

Program Studi Pendidikan Biologi



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

**PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN
BERBASIS TPACK UNTUK Mendukung *EDUCATION FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ESD)***

SKRIPSI

oleh

RA Lutfiah Az-Zahra

NIM: 06091282126020

Program Studi Pendidikan Biologi



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

**PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN
BERBASIS TPACK UNTUK Mendukung *EDUCATION FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ESD)***

SKRIPSI

oleh

RA Lutfiah Az-Zahra

NIM: 06091282126020

Program Studi Pendidikan Biologi

Mengesahkan:

Koordinator Program Studi,



Dr. Mgs. M. Tibrani, S.Pd., M.Si.

NIP. 197904132003121001

Pembimbing,

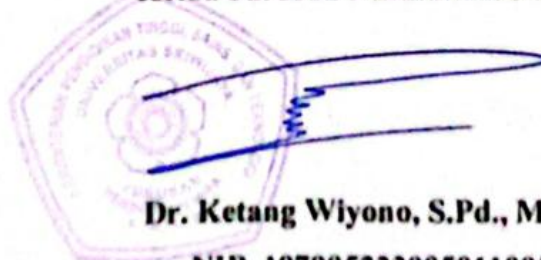


Dr. Yenny Anwar, S.Pd., M.Pd.

NIP. 197910142003122002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Pendidikan MIPA,



Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd.

NIP. 197905222005011005

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : RA Lutfiah Az-Zahra

NIM : 06091282126020

Program Studi : Pendidikan Biologi

menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul “Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK untuk Mendukung *Education for Sustainable Development* (ESD)” ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Skripsi ini adalah bagian dari penelitian yang dibiayai oleh Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kontrak Pelaksanaan Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Program Penelitian Tahun Anggaran 2024 Nomor: 090/E5/PG.02.00.PL/2024.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 24 Maret 2025
Yang membuat pernyataan,



RA Lutfiah Az-Zahra
NIM 06091282126020

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas seluruh rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK untuk Mendukung Education for Sustainable Development (ESD)” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Hartono, M.A., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Ketang Wiyono, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Sriwijaya.
4. Dr. Mgs. M. Tibrani, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Sriwijaya.
5. Dr. Yenny Anwar, M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Skripsi sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan kepada penulis selama perkuliahan dan penyusunan skripsi.
6. Elvira Destiansari, M.Pd., selaku Dosen Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan selama penyusunan skripsi.
7. Dr. Finga Fitri Amanda, M.Pd., Susy Amizera S.Pd., M.Si. dan Dra. Yuristiani Ellysia, M.Si., selaku Validator Produk yang telah memberikan penilaian juga saran dan komentar untuk perbaikan produk yang dikembangkan dalam skripsi ini.
8. Seluruh Dosen Program Studi Pendidikan Biologi yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang tak ternilai selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Pendidikan Biologi

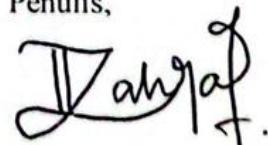
9. Staff dan Admin Program Studi Pendidikan Biologi yang telah membantu segala urusan penulis selama perkuliahan.
10. Seluruh pihak SMA Negeri 15 Palembang, baik kepala sekolah, waka kurikulum, guru, dan peserta didik yang membantu proses penelitian sehingga dapat berjalan dengan lancar.
11. Orang tua penulis, Abi dan Ummi yang selalu mengusahakan segala yang terbaik untuk penulis, yang memberi kebebasan dan dukungan kepada penulis untuk menggapai impian, yang memberikan keberanian kepada penulis untuk mencoba berbagai kesempatan, yang selalu berucap bangga tanpa syarat. Terima kasih atas doa, cinta, dukungan, dan kasih sayang yang luar biasa yang telah diberikan kepada penulis.
12. Saudara penulis, R.M. Ubaidillah, R.A. Fahira Syahel, R.M. Zindan As'ad dan R.A. Fatimah Humairah, yang menjadi alasan penulis untuk menjalani perkuliahan sebaik mungkin agar dapat menjadi adik yang baik sekaligus kakak yang membanggakan. Terima kasih atas segala dukungan dan bantuan yang diberikan kepada penulis.
13. Seseorang yang telah berpulang lebih dahulu, yang menjadi salah satu alasan penulis memilih prodi Pendidikan Biologi. Terima kasih telah menjadi alasan penulis bertahan di titik terendah penulis, *you must be proud of me right?*
14. Sembilan orang dari IIBS Squad, Claudia Arfasya, Ziva Genta Sangkara, Anggun Hasanah Putri, Intan Nuraini, Syakira Salim, Sharani Salsabilla, Dinda Yunatha, Ahmad Husein, dan Annisa Fajri, yang meski terpisah jarak tetap menjadi tempat terbaik untuk penulis bercerita dan berkeluh kesah. Terima kasih telah menjadi sahabat terbaik penulis selama 16 tahun, sejak duduk di kelas 1 SD hingga satu persatu telah mendapatkan gelar sarjana. *Together, we can smash every single one of our dreams, guys!*
15. Teman-teman alumni Libels, Zahra Nurriszka, Putri Nur Azizah, Afrindo Retya, Owen Saputra, M. Rizki Anugerah, Salsa Nabila, Salsabila Kamalia, dan Balqis Bahieta, melalui pertemuan dengan frekuensi yang jarang selalu membangkitkan kembali semangat penulis di saat merasa lelah.

16. Teman-teman LDF Barokah, Kamilah, Novita, Rika, Putri, dan Diva yang kebersamai penulis untuk bertumbuh dan menjejakkan langkah pada kebaikan.
17. Teman-teman sepembimbingan skripsi, Razan Gantama NJ, Haslinda, Dian Agustin, dan Tri Septiana yang menjadi penyemangat dan tempat penulis berdiskusi selama penyusunan skripsi.
18. Teman-teman Kampus Mengajar 8 SMP Utama Bakti Palembang yang kebersamai penulis dalam perjalanan 4 bulan yang penuh cerita di sela penyusunan skripsi.
19. Teman-teman selama pemberkasan, Kak Ayu, Kinan, Chyntia, dan Jannatil yang telah kebersamai penulis mengurus pemberkasan wisuda di waktu yang singkat.
20. Seluruh teman-teman Pendidikan Biologi 2021 yang telah mengisi perkuliahan penulis dengan berbagai cerita, suka, maupun duka.
21. RA Lutfiah Az-Zahra, terima kasih atas segala mampu yang diusahakan, segala tanggung yang menjadikanmu bertahan, juga segala rapuh yang tak pernah terceritakan. Teruslah melangkah, jangan hilang asa untuk menjemput kesempatan baik lainnya. *Bon Voyage!*

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sepenuhnya sempurna, saran dan masukan yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa FKIP Universitas Sriwijaya dan pembaca lainnya.

Indralaya, 24 Maret 2025

Penulis,



RA Lutfiah Az-Zahra

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Perangkat Pembelajaran	6
2.1.1 Pengertian Perangkat Pembelajaran	6
2.1.2 Komponen Perangkat Pembelajaran	7
2.2 <i>Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)</i>	12
2.2.1 Pengertian TPACK	12
2.2.2 Komponen TPACK	14
2.3 <i>Education for Sustainable Development (ESD)</i>	16
2.4 Materi Perubahan Lingkungan	19
2.4.1 Perubahan Lingkungan	19
2.4.2 Dampak Perubahan Lingkungan	20
2.4.3 Pencemaran Lingkungan	21
2.4.4 Pelestarian Lingkungan	22

BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Desain Penelitian	24
3.3 Definisi Istilah	24
3.4 Prosedur Penelitian	25
3.4.1 Tahap Analisis (<i>Analysis</i>)	25
3.4.2 Tahap Perancangan (<i>Design</i>)	26
3.4.3 Tahap Pengembangan (<i>Development</i>)	27
3.4.4 Tahap Implementasi (<i>Implementation</i>)	28
3.4.5 Tahap Evaluasi (<i>Evaluate</i>)	28
3.5 Teknik Pengumpulan Data	29
3.5.1 Instrumen CoRes & TPAP-eRs	29
3.5.2 Lembar Penilaian Produk	30
3.5.3 Angket Respon	32
3.5.4 Tes Kompetensi Kunci Keberlanjutan	32
3.6 Teknik Analisis Data	33
3.6.1 Analisis Kevalidan	33
3.6.2 Analisis Kepraktisan	34
3.6.3 Analisis Keefektifan	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Penelitian	36
4.1.1 Tahap Analisis (<i>Analysis</i>)	36
4.1.2 Tahap Perancangan (<i>Design</i>)	39
4.1.3 Tahap Pengembangan (<i>Development</i>)	51
4.1.4 Tahap Implementasi (<i>Implementation</i>)	65
4.1.5 Tahap Evaluasi (<i>Evaluate</i>)	65
4.2 Pembahasan	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komponen Modul Ajar	7
Tabel 2.2 Kompetensi Kunci untuk Keberlanjutan.....	17
Tabel 3.1 Kisi-Kisi Pertanyaan Cores.....	29
Tabel 3.2 Pertanyaan Pengarah Untuk TPaP-eRs.....	29
Tabel 3.3 Kisi-Kisi Lembar Penilaian Modul Ajar.....	30
Tabel 3.4 Kisi-Kisi Lembar Penilaian Modul Ajar.....	31
Tabel 3.5 Kisi-Kisi Lembar Penilaian LKPD	31
Tabel 3.6 Kisi-Kisi Lembar Penilaian Soal Evaluasi.....	32
Tabel 3.7 Kisi-Kisi Angket Respon Peserta Didik	32
Tabel 3.8 Kriteria Validitas.....	33
Tabel 3.9 Kategori Kepraktisan Perangkat Pembelajaran	34
Tabel 3.10 Panduan Pengkategorian Skor N-Gain	35
Tabel 4.1 Hasil Analisis Kebutuhan	37
Tabel 4.2 Hasil Analisis Kurikulum	38
Tabel 4.3 Konsep Penting dan Tujuan Pembelajaran	39
Tabel 4.4 Inovasi Perangkat Pembelajaran	41
Tabel 4.5 Kerangka Rancangan Modul Ajar	46
Tabel 4.6 Kerangka Rancangan <i>Book Chapter</i>	47
Tabel 4.7 Kerangka Rancangan LKPD.....	49
Tabel 4.8 Kerangka Rancangan Soal Evaluasi	50
Tabel 4.9 Komentar dan Saran Validator.....	61
Tabel 4.10 Hasil Revisi Produk	62
Tabel 4.11 Skor <i>Pre-test</i> dan <i>Post-test</i> Peserta Didik.....	65
Tabel 4.12 Hasil Validitas Produk	66
Tabel 4.13 Hasil Kepraktisan Produk	67
Tabel 4.14 Skor N-Gain Peserta Didik	67
Tabel 4.15 Sebaran Peserta Didik Berdasarkan Kategori N-Gain.....	67
Tabel 4.16 Hasil Uji Wilcoxon	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tujuh Komponen TPACK	14
Gambar 3.1 Model Pengembangan ADDIE	24
Gambar 3.2 Alur Prosedur Penelitian	25
Gambar 4.1 Sampul Modul Ajar.....	51
Gambar 4.2 Informasi Umum Modul Ajar	52
Gambar 4.3 Komponen Inti Modul Ajar.....	52
Gambar 4.4 Lampiran Modul Ajar	53
Gambar 4.5 Sampul <i>Book Chapter</i>	54
Gambar 4.6 Bagian Pendahuluan <i>Book Chapter</i>	54
Gambar 4.7 Subbab Keseimbangan dan Perubahan Lingkungan	55
Gambar 4.8 Subbab Pencemaran Lingkungan.....	56
Gambar 4.9 Subbab Penanganan Limbah	56
Gambar 4.10 Subbab Etika Lingkungan	57
Gambar 4.11 Bagian Penutup <i>Book Chapter</i>	57
Gambar 4.12 Sampul LKPD	58
Gambar 4.13 Bagian Pendahuluan LKPD	59
Gambar 4.14 Langkah Kegiatan LKPD.....	59
Gambar 4.15 Soal Evaluasi.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Lembar Penilaian Modul Ajar	92
Lampiran 2 Lembar Penilaian <i>Book Chapter</i>	95
Lampiran 3 Lembar Penilaian LKPD	98
Lampiran 4 Lembar Penilaian Soal Evaluasi	101
Lampiran 5 Angket Respon Peserta Didik	104
Lampiran 6 Instrumen CoRes & TPAP-eRs	105
Lampiran 7 Revisi Produk	112
Lampiran 8 Hasil Analisis Validasi Modul Ajar	118
Lampiran 9 Hasil Analisis Validasi <i>Book Chapter</i>	119
Lampiran 10 Hasil Analisis Validasi LKPD	120
Lampiran 11 Hasil Analisis Validasi Soal Evaluasi	121
Lampiran 12 Hasil Analisis Skor <i>Pre-test</i>	122
Lampiran 13 Hasil Analisis Skor <i>Post-test</i>	124
Lampiran 14 Analisis Hasil Angket Respon Peserta Didik	126
Lampiran 15 Hasil Analisis Skor N-Gain	128
Lampiran 16 Produk <i>Book Chapter</i>	129
Lampiran 17 Produk Modul Ajar	140
Lampiran 18 Produk LKPD	145
Lampiran 19 Produk Soal Evaluasi	148
Lampiran 20 Dokumentasi Kegiatan Uji Coba	156
Lampiran 21 Usulan Judul Skripsi	157
Lampiran 22 Persetujuan Seminar Proposal	158
Lampiran 23 SK Pembimbing	159
Lampiran 24 Surat Izin Penelitian	161
Lampiran 25 Surat Tugas Validator	162
Lampiran 26 Surat Keterangan Selesai Penelitian	163
Lampiran 27 Persetujuan Seminar Hasil Penelitian	164
Lampiran 28 Surat Keterangan Bebas Laboratorium	165

Lampiran 29 Surat Keterangan Bebas Pustaka	166
Lampiran 30 Persetujuan Ujian Skripsi	167
Lampiran 31 Bukti Perbaikan Skripsi	168
Lampiran 32 Hasil Pengecekan Similarity	169
Lampiran 33 Surat Keterangan Pengecekan Similarity	170

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dalam mendukung *Education for Sustainable Development* (ESD) pada materi perubahan lingkungan yang valid, praktis, dan efektif. Metode penelitian yang digunakan adalah model pengembangan ADDIE yang terdiri dari lima tahap, yaitu analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Pengumpulan data dilakukan melalui instrumen CoRes & TPAP-eRs, lembar penilaian produk, angket respon peserta didik, dan tes. Penelitian ini menghasilkan produk berupa perangkat pembelajaran yang meliputi modul ajar, book chapter, LKPD, dan soal evaluasi yang dapat diakses melalui tautan bit.ly/PerangkatPembelajaranTPACKESD. Hasil uji coba menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran yang dikembangkan memiliki tingkat validitas yang sangat tinggi, dengan nilai kevalidan rata-rata 0,96. Uji kepraktisan menunjukkan perangkat pembelajaran memperoleh tingkat praktikalitas sebesar 98,21% yang dikategorikan sangat praktis. Uji keefektifan menunjukkan peningkatan kompetensi kunci keberlanjutan peserta didik dengan rata-rata N-Gain sebesar 0,78 (kategori tinggi), uji Wilcoxon menghasilkan nilai 0,000 ($p < 0,05$), yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari perangkat pembelajaran terhadap kompetensi kunci keberlanjutan peserta didik. Perangkat pembelajaran berbasis TPACK yang dikembangkan dinyatakan valid, praktis, dan efektif dalam mendukung ESD.

Kata-kata kunci: TPACK, *Education for Sustainable Development* (ESD), perangkat pembelajaran, perubahan lingkungan.

ABSTRACT

This study aims to produce TPACK-based learning tools in supporting Education for Sustainable Development (ESD) on environmental change materials that are valid, practical, and effective. The research method used is the ADDIE development model which consists of five stages, namely analysis, design, development, implementation, and evaluation. Data collection was conducted through CoRes & TPAP-eRs instruments, product assessment sheets, learner response questionnaires, and tests. This research produces products in the form of learning tools which include teaching modules, book chapters, LKPD, and evaluation questions which can be accessed through link bit.ly/PerangkatPembelajaranTPACKESD. The evaluation results show that the learning tools developed have a very high level of validity, with an average validity value of 0.96. The practicality test showed that the learning tools obtained a practicality level of 98.21% which was categorized as very practical. The effectiveness test shows an increase in the key competencies of students' sustainability with an average N-Gain of 0.78 (high category), the Wilcoxon test produces a value of 0.000 ($p < 0.05$), which indicates a significant effect of learning tools on the key competencies of students' sustainability. The TPACK-based learning tools developed are valid, practical, and effective in supporting ESD.

Keywords: *TPACK, Education for Sustainable Development (ESD), learning tools, enviromental change.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan berkelanjutan yang menjadi perhatian global diwujudkan melalui 17 tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs), yang mencakup aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan (Fonseca dkk., 2020). Salah satu strategi utama dalam mencapai SDGs adalah melalui pendidikan yakni dengan menerapkan kerangka Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan atau *Education for Sustainable Development* (ESD) (Annelin & Boström, 2022). Kerangka ESD memfasilitasi integrasi pembangunan berkelanjutan ke dalam pendidikan, ESD bertujuan untuk meningkatkan peran dan kontribusi sektor pendidikan dalam menciptakan masyarakat dan dunia yang berkelanjutan, melalui peningkatan kompetensi kunci yang diperlukan peserta didik dalam mencapai keberlanjutan (Purnamasari & Hanifah, 2021; UNESCO, 2020). Implementasi ESD dapat dilakukan salah satunya melalui integrasi ESD ke dalam elemen penting pendidikan yakni proses pembelajaran (Riess dkk., 2022).

Untuk melaksanakan proses pembelajaran, guru memerlukan suatu alat atau perangkat pembelajaran sebagai pedoman untuk mengajar, maka ketika guru akan menerapkan prinsip ESD ke dalam proses pembelajaran, guru juga memerlukan perangkat pembelajaran yang mendukung ESD. Namun, belum banyak tersedia perangkat pembelajaran yang mendukung ESD. Berdasarkan hasil penelitian Meda (2022) tingkat kesesuaian RPP dengan prinsip-prinsip ESD masih berkisar antara 13% hingga 70%, hasil analisis bahan ajar biologi kelas X yang dilakukan oleh Utami dkk. (2023) menunjukkan bahan ajar bermuatan SDGs masih dalam persentase rendah yaitu hanya sekitar 2-16%, serta Wahyuna (2024) mengemukakan bahwa pengembangan soal soal berbasis ESD di Indonesia sebagian besar hanya berfokus pada jenjang sekolah dasar.

Pada kurikulum merdeka, perangkat pembelajaran perlu mencakup integrasi antara konten, pedagogik, dan teknologi ke dalam proses pembelajaran. Seorang guru profesional harus mampu merancang pembelajaran dengan

menerapkan prinsip yang mampu memadukan pengetahuan materi ajar, pedagogik, serta teknologi informasi dan komunikasi atau *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK) (Peraturan Direktur Jendral Guru dan Tenaga Kependidikan, 2021). TPACK berfungsi sebagai kerangka kerja konseptual yang berguna untuk menganalisis, mengevaluasi, dan memudahkan guru mengintegrasikan teknologi, konten dan pedagogi dalam pengajaran sehingga tepat sasaran (Koehler dkk., 2013; Koehler & Mishra, 2005; Mishra & Koehler, 2006). Hasil penelitian Anwar dkk. (2024) menunjukkan bahwa kemampuan TPACK guru rata-rata masih dalam kategori *Growing-TPACK*, dan lamanya pengalaman mengajar tidak berbanding lurus dengan peningkatan kemampuan TPACK. Padahal, dalam membelajarkan ESD, kemampuan TPACK memegang peranan krusial. Kemampuan TPACK memungkinkan pengembangan pembelajaran yang tidak hanya sekadar penyampaian konten, melainkan dapat memasukkan nilai-nilai keberlanjutan melalui muatan materi, strategi pembelajaran, dan pemanfaatan teknologi yang tepat dan inovatif, pemanfaatan teknologi dalam penyajian pengetahuan ESD dapat membuat sumber daya ESD lebih mudah diakses (Filho dkk., 2015).

Salah satu materi yang berkaitan erat dengan ESD adalah materi perubahan lingkungan. Pada materi perubahan lingkungan, penting bagi guru untuk memanfaatkan contoh-contoh dan kearifan lokal serta isu lingkungan nasional dan global dalam proses pembelajaran agar peserta didik dapat memahami relevansi materi dengan konteks kehidupan sehari-hari. Dengan memasukkan elemen contoh dan kearifan lokal, guru dapat membantu peserta didik mengidentifikasi bagaimana kebijakan lingkungan dan praktik berkelanjutan dapat terintegrasi dengan tradisi dan nilai-nilai masyarakat. Sementara itu, isu-isu nasional seperti banjir dan kebakaran hutan serta isu global seperti pemanasan global perlu disampaikan dengan mengaitkannya dengan realitas saat ini, sehingga sangat dibutuhkan pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran materi perubahan lingkungan (Nabilah, 2024). Namun saat ini perangkat pembelajaran terkait perubahan lingkungan cenderung tidak menggunakan contoh-contoh yang kontekstual dan terkini, sehingga kurang relevan dengan situasi nyata yang dihadapi peserta didik. Selain

itu, integrasi teknologi dalam perangkat pembelajaran masih sangat terbatas, padahal pemanfaatan teknologi dapat meningkatkan pemahaman dan keterlibatan peserta didik (Amalini & Winarsih, 2022).

Penelitian ini didukung oleh penelitian terdahulu yaitu pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi Organ Gerak Hewan dan Manusia (Kurnianto & Sarwono, 2023) dimana perangkat pembelajaran ditujukan untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah peserta didik. Selain itu, terdapat pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi Sistem Peredaran Darah yang pada uji lapangan menunjukkan peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik sebesar 19,16% (Suyamto, 2020). Namun belum ada penelitian terkait pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK yang memasukkan prinsip-prinsip ESD pada materi Perubahan Lingkungan. Oleh karena belum tersedianya perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi perubahan lingkungan yang dikembangkan dengan prinsip-prinsip ESD, hal ini mendorong penulis untuk menyusun penelitian yang berjudul "Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK untuk Mendukung *Education for Sustainable Development (ESD)*".

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan fokus permasalahan yang telah dijabarkan sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan dibahas yaitu:

1. Bagaimana pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk mendukung ESD pada materi perubahan lingkungan yang valid?
2. Bagaimana pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk mendukung ESD pada materi perubahan lingkungan yang praktis?
3. Bagaimana pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk mendukung ESD pada materi perubahan lingkungan yang efektif?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan di atas, maka tujuan yang akan dicapai melalui penelitian ini yaitu:

1. Menghasilkan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk mendukung ESD pada materi perubahan lingkungan yang valid.
2. Menghasilkan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk mendukung ESD pada materi perubahan lingkungan yang praktis.
3. Menghasilkan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk mendukung ESD pada materi perubahan lingkungan yang efektif.

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Untuk menghindari perluasan masalah, penulis membatasi penelitian berupa:

1. Perangkat pembelajaran yang dikembangkan meliputi Modul Ajar, *Book Chapter*, LKPD, dan Soal Evaluasi.
2. Poin SDGs yang menjadi fokus dalam perangkat pembelajaran hanya pada lima poin yaitu poin 6 *Clean Water and Sanitation*, poin 11 *Sustainable Cities and Communities*, poin 13 *Climate Action*, poin 14 *Life Below Water*, dan poin 15 *Life on Land*.
3. Kompetensi kunci keberlanjutan yang hendak ditingkatkan melalui perangkat pembelajaran hanya lima kompetensi yaitu kompetensi kesadaran diri, kompetensi antisipatif, kompetensi strategis, kompetensi kolaborasi, dan kompetensi pemecahan masalah terintegrasi

1.5 Manfaat Penelitian

a. Bagi Pendidik

- 1) Menggali potensi TPACK guru dalam mengidentifikasi kebutuhan dan elemen penting di dalam proses pembelajaran sebagai landasan untuk dapat mengembangkan sebuah pembelajaran
- 2) Menghadirkan perangkat pembelajaran yang dapat dimanfaatkan dalam proses pembelajaran maupun dijadikan acuan untuk mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis TPACK yang mendukung ESD.

b. Bagi Peserta Didik

- 1) Menghadirkan pembelajaran yang lebih interaktif dan bermakna melalui pengembangan perangkat pembelajaran yang lebih kontekstual, mengangkat contoh-contoh lokal, serta memanfaatkan teknologi digital.
- 2) Memberikan kesempatan pengembangan kompetensi kunci untuk keberlanjutan yang diperlukan dalam mencapai SDGs.

c. Bagi Peneliti

Menambah wawasan tentang bagaimana mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk mendukung ESD dengan model pengembangan ADDIE sebagai bekal untuk menjadi seorang pendidik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afida, A. N. (2021). *Pengembangan perangkat pembelajaran materi gelombang bunyi dengan model PJBL-STEM terintegrasi TPACK untuk meningkatkan penguasaan konsep dan kemampuan pemecahan masalah siswa SMA*. Universitas Negeri Malang.
- Akbar, A. A., Sartohadi, J., Djohan, T. S., & Ritohardoyo, S. (2017). Erosi pantai, ekosistem hutan bakau dan adaptasi masyarakat terhadap bencana kerusakan pantai di negara tropis (Coastal erosion, mangrove ecosystems and community adaptation to coastal disasters in tropical countries). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.14710/jil.15.1.1-10>
- Aldalur, I., & Perez, A. (2023). Gamification and discovery learning: Motivating and involving students in the learning process. *Heliyon*, 9(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13135>
- Alm, K., Beery, T. H., Eiblmeier, D., & Fahmy, T. (2022). Students' learning sustainability – implicit, explicit or non-existent: a case study approach on students' key competencies addressing the SDGs in HEI program. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(8), 60–84. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-12-2020-0484>
- Amalini, H., & Winarsih. (2022). Pengembangan perangkat pembelajaran biologi berbasis sains teknologi masyarakat dan lingkungan kelas X SMA. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 11(1), 206–217. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu>
- Annelin, A., & Boström, G. O. (2022). An assessment of key sustainability competencies: a review of scales and propositions for validation. Dalam *International Journal of Sustainability in Higher Education* (Vol. 24, Nomor 9, hlm. 53–69). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2022-0166>
- Anwar, Y., Riyanti, S., & Dewi, S. P. (2024). TPACK profile of biology teachers in the industrial revolution 4.0 era. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(3), 1020–1033. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i3.37006>

- Arends, R. (2012). *Learning to Teach*. McGraw-Hill.
- Arsyad, S., & Rustiadi, E. (2008). *Penyelamatan tanah, air, dan lingkungan*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Asmida, L., Sitanggang, R. S., Sianturi, S. A., & Mukra, R. (2024). Tantangan dan strategi guru dalam pembuatan materi pemantik berbasis PBL Di SMAS 1-2 Kartika Medan. *BIODIK*, *10*(2), 181–187. <https://doi.org/10.22437/biodik.v10i2.33896>
- Azhar, A., Basyir, M. D., & Alfitri, A. (2015). Hubungan pengetahuan dan etika lingkungan dengan sikap dan perilaku menjaga kelestarian lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *13*(1), 36–41.
- Azwar, S. (2013). *Metode penelitian*. Pustaka Pelajar.
- Bourne, P. E. (2013). Let's make those book chapters open too! *PLoS Computational Biology*, *9*(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002941>
- Broman, K., Bernholt, S., & Christensson, C. (2022). Relevant or interesting according to upper secondary students? Affective aspects of context-based chemistry problems. *Research in Science and Technological Education*, *40*(4), 478–498. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1824177>
- Brundiers, K., Barth, M., Cebrián, G., Cohen, M., Diaz, L., Doucette-Remington, S., Dripps, W., Habron, G., Harré, N., Jarchow, M., Losch, K., Michel, J., Mochizuki, Y., Rieckmann, M., Parnell, R., Walker, P., & Zint, M. (2021). Key competencies in sustainability in higher education—toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science*, *16*(1), 13–29. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00838-2>
- Cornet, S., Barpanda, S., Guidi, M. A. D., & Viswanathan, P. K. (2023). Sustainability education and community development in higher education using participatory and case based approaches in India. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *25*(9), 78–93. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2022-0242>
- Devi, P. K., Sofiraeni, R., & Khairuddin. (2009). *Pengembangan Perangkat Pembelajaran*. PPPPTK IPA.

- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (1996). *The Systematic Design of Instruction*. Allyn & Bacon.
- Eurika, N. (2022). Perangkat pembelajaran biosistematik hewan bermuatan TPACK: Sebuah kajian kelayakan. *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 7(1), 16–29. <https://doi.org/10.32528/bioma.v7i1.7277>
- Febrian, A., Wilujeng, I., & Kun Prasetyo, Z. (2024). Literature review: Development of science learning based on local wisdom and indigenous knowledge for ESD. *KnE Social Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i13.15989>
- Filho, W. L., Manolas, E., & Pace, P. (2015). The future we want key issues on sustainable development in higher education after rio and the un decade of education for sustainable development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 16(1), 112–129. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-03-2014-0036>
- Fonseca, L. M., Domingues, J. P., & Dima, A. M. (2020). Mapping the sustainable development goals relationships. *Sustainability*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083359>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hammer, D. (1997). Discovery learning and discovery teaching. Dalam *Cognition and Instruction* (Vol. 15, Nomor 4, hlm. 485–529). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Hayati, M. (2022). Peningkatan hasil belajar dengan pendekatan TPACK pada pembelajaran IPA. *SCIENCE: Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 2(4), 477–483.
- Hedden, C. (1998). *A guided exploration model of problem-solving discovery learning*.

- Hendriawan, D., & Maulia, L. N. A. (2020). Integrated teaching material with education for eustainable development on history subject for high schools curriculum development. *Journal of Physics: Conference Series*, 1477(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/4/042030>
- Isnawan, M. G. (2020). *Kuasi eksperimen* (Sudirman, Ed.). Nashir Al-Kutub Indonesia. <https://www.researchgate.net/publication/339040496>
- Jannah, F., & Fathuddi, T. I. F. (2023). Penerapan modul ajar berbasis Kurikulum Merdeka II UPT SD Negeri 323 Gresik. *SOKO GURU: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 3(1), 131–143. <https://doi.org/10.55606/sokoguru.v3i1.2099>
- Jiang, J. (2022). Nonparametric statistics. Dalam *Large Sample Techniques for Statistics* (hlm. 379–415). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91695-4_11
- Joo, Y., Park, S., & Lim, E. (2018). Factors influencing preservice teachers' intention to use technology: TPACK, teacher self-efficacy, and technology acceptance model. *Educational Technology & Society*, 21(3), 48–59.
- Junita, A., Supriatno, B., & Purwianingsih, W. (2021). Profil keterampilan kolaborasi siswa SMA pada praktikum maya sistem ekskresi. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 4(2), 50–57. <https://doi.org/10.17509/aijbe.v4i2.41480>
- Kasi, R. (2023). *Pembelajaran Aktif: Mendorong Partisipasi Siswa*. Kemendikbudristek. (2022). *Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 262/M/2022 tentang Perubahan Atas Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 56/M/2022 Tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam Rangka Pemulihan Pembelajaran*.
- Khikmiyah, F. (2021). Implementasi web live worksheet berbasis problem based learning dalam pembelajaran matematika. *Pedagogy*, 6(1).
- Khoiri, A. (2016). Local wisdom for early childhood education as an instrument to enhance student's soft skill (study cash: development RKH on science learning). *IJECES*, 5(1), 14–17. <https://doi.org/10.15294/ijeces.v5i1.11271>

- King, D., & Henderson, S. (2018). Context-based learning in the middle years: achieving resonance between the real-world field and environmental science concepts. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1221–1238. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1470352>
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2005). What happens when teachers design educational technology? the development of Technological Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 32(2), 131–152. <https://doi.org/10.2190/0EW7-01WB-BKHL-QDYV>
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70. <https://www.researchgate.net/publication/241616400>
- Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19. <https://doi.org/10.1177/002205741319300303>
- Kurnianto, B., & Sarwono, R. (2023). Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dalam meningkatkan aktivitas belajar dan kemampuan pemecahan masalah siswa. *Scholaria: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 13(3), 210–221.
- Lase, N. K., & Zai, N. (2022). Pengembangan lembar kerja peserta didik (LKPD) berbasis contextual teaching and learning pada materi sistem ekskresi manusia di kelas VIII SMP Negeri 3 Idanogawo. *Jurnal Pendidikan MINDA*, 3(2), 99–113.
- Loughran, J., Milroy, P., Berry, A., Gunstone, R., & Mulhall, P. (2001). Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs. *Research in Science Education*, 31(2), 289–307. <https://doi.org/10.1023/A:1013124409567>
- Magdalena, I., Prabandani, R. O., Rini, E. S., Fitriani, M. A., & Putri, A. A. (2020). Analisis pengembangan bahan ajar. *Nusantara: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sosial*, 2(2), 170–187. <https://ejournal.stitpn.ac.id/index.php/nusantara>

- Malichatin, H. (2019). Analisis kemampuan technological pedagogical and content knowledge mahasiswa calon guru biologi melalui kegiatan presentasi di kelas. *Journal of Biology Education*, 2(2), 162–171. <http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/jbe>
- Marten, G. G. (2001). *Human Ecology: Basic Concepts for Sustainable Development*. Routledge.
- Masnur, Gani, H. A., & Mustafa. (2024). TPACK-Based Project-Based Learning Model Development to Improve the Four C's Students' Skills. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 50(8), 538–546. <https://doi.org/10.9734/ajess/2024/v50i81552>
- Maulida, U. (2022). Pengembangan Modul Ajar Berbasis Kurikulum Merdeka. *Tarbawi*, 5(2), 130–138. <https://stai-binamadani.e-journal.id/Tarbawi>
- Meda, T. (2022). Analisis potensi RPP education for sustainable development pada mata pelajaran fisika SMA. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, 7(3), 344–352. <https://doi.org/10.51169/ideguru.v7i3.446>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Barrio, C. N., Muñoz-Organero, M., & Soriano, J. S. (2016). Can gamification improve the benefits of student response systems in learning? An experimental study. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 4(3), 429–438. <https://doi.org/10.1109/TETC.2015.2497459>
- Mulyadiprana, A., Rahman, T., Hamdu, G., & Yulianto, A. (2023). Kesadaran keberlanjutan siswa pada aspek pengetahuan melalui penerapan program education for sustainable developmnet (ESD) di sekolah dasar. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 5(1), 577–585. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v5i1.4283>
- Murray, P., Goodhew, J., & Murray, S. (2014). The heart of ESD: personally engaging learners with sustainability. *Environmental Education Research*, 20(5), 718–734. <https://doi.org/10.1080/13504622.2013.836623>

- Nabilah, T. M. (2024). *Profil kemampuan technological pedagogical and content knowledge (TPACK) guru biologi pada materi perubahan lingkungan di Kecamatan Kalidoni Kota Palembang dan Kecamatan Semende Darat Laut Kabupaten Muara Enim*. Universitas Sriwijaya.
- Nana. (2020). *Pengembangan bahan ajar*. Penerbit Lakeisha.
- Nasution, M. K. M. (2023). Buku bunga rampai (book chapter). *Teknik Penulisan Karya Ilmiah, 1*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30805.19686>
- Nilsson, P., & Elm, A. (2017). Capturing and developing early childhood teachers' science pedagogical content knowledge through CoRes. *Journal of Science Teacher Education*, 28(5), 406–424. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2017.1347980>
- Nilsson, P., & Loughran, J. (2012). Exploring the development of pre-service science elementary teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Science Teacher Education*, 23(7), 699–721. <https://doi.org/10.1007/s10972-011-9239-y>
- Niman, E. (2019). Kearifan lokal dan upaya pelestarian lingkungan alam. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan Missio*, 11(1), 91–106. <https://doi.org/10.36928/jpkm.v11i1.139>
- Nurdin, S., & Adriantoni. (2016). *Kurikulum dan Pembelajaran*. Rajawali Press.
- Nurmaya, Y., Susilawati, Zuhdi, M., & Hikmawati. (2021). Pengembangan perangkat pembelajaran model inkuiri terbimbing pada materi alat-alat optik untuk meningkatkan penguasaan konsep fisika. *ORBITA Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 7(1), 147–154.
- Ozsoy, S., Ertepinar, H., & Saglam, N. (2012). Can eco-schools improve elementary school students' environmental literacy levels? *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 13(2), 1. <http://www.fee-international.org>
- Paschall, M., & Wüstenhagen, R. (2012). More than a game: Learning about climate change through role-play. *Journal of Management Education*, 36(4), 510–543. <https://doi.org/10.1177/1052562911411156>

- Pawestri, E., & Zulfiati, H. M. (2020). Pengembangan lembar kerja peserta didik (LKPD) untuk mengakomodasi keberagaman siswa pada pembelajaran tematik kelas II di SD Muhammadiyah Danunegaran. *Trihayu: Jurnal Pendidikan Ke-SD-an*, 6(3), 903–913.
- Peraturan Direktur Jendral Guru dan Tenaga Kependidikan, Pub. L. No. 1677/B/HK.01.01/2021, Petunjuk Teknis Program Pendidikan Profesi Guru Dalam Jabatan (2021).
- Pradipta, D. D., Madlazim, & Hariyono, E. (2021). The Effectiveness of Science Learning Tools Based on Education Sustainable Development (ESD) to Improve Problem-Solving Skills. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 2(3), 342–353. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v2i3.113>
- Prastowo, A. (2013). *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Diva Press.
- Purnamasari, S., & Hanifah, A. N. (2021). Education for sustainable development (ESD) dalam pembelajaran IPA. *JKPI: Jurnal Kajian Pendidikan IPA*, 1(2), 69–75.
- Puspaningsih, A. R., Tjahjadarmawan, E., & Krisdianti, N. R. (2021). *Ilmu Pengetahuan Alam*. Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Qureshi, M. I., Khan, N., Raza, H., Imran, A., & Ismail, F. (2021). Digital technologies in education 4.0. Does it enhance the effectiveness of learning? *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(4), 31–47. <https://doi.org/10.3991/IJIM.V15I04.20291>
- Rahmadayanti, D., & Hartoyo, A. (2022). Potret kurikulum merdeka, wujud merdeka belajar di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(4), 7174–7187. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i4.3431>
- Rahmawati, H. L., & Wulandari, S. S. (2020). Pengembangan lembar kegiatan peserta didik (LKPD) berbasis scientific approach pada mata pelajaran administrasi umum semester genap kelas X OTKP di SMK Negeri 1 Jombang. *Jurnal Pendidikan Administrasi Perkantoran (JPAP)*, 8(3), 504–515. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/jpap>

- Ramadhan, A., & Hafsaridewi, R. (2017). Dampak perubahan lingkungan terhadap perkembangan aktivitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat pesisir di kawasan Segara Anakan. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 7(1), 33–53. <https://doi.org/10.15578/jsekp.v7i1.5734>
- Ramadhan, M. F., Panggabean, E. M., & Irvan. (2023). Pengembangan perangkat pembelajaran sistem koordinat kartesius dan vektor pada bidang berbasis higher order thinking skills dan technological pedagogical content knowledge. *Jurnal Cendekia : Jurnal Pendidikan Matematika*, 8(1), 62–73. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v8i1.2867>
- Raradhita, A., Sukamto, S., & Wakhyudin, H. (2022). Pengembangan perangkat pembelajaran materi bangun datar kelas IV melalui pendekatan open ended berbasis TPACK untuk meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa sekolah dasar di kabupaten batang. *Wawasan Pendidikan*, 2(1), 126–136. <https://doi.org/10.26877/wp.v2i1.9779>
- Riess, W., Martin, M., Mischo, C., Kothhoff, H. G., & Waltner, E. M. (2022). How Can Education for Sustainable Development (ESD) Be Effectively Implemented in Teaching and Learning? An Analysis of Educational Science Recommendations of Methods and Procedures to Promote ESD Goals. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14073708>
- Sari, P. I., Gunawan, & Harjono, A. (2016). Penggunaan discovery learning berbantuan laboratorium virtual pada penguasaan konsep fisika siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 2(4), 176–182.
- Satuti, R., & Atmojo, I. R. W. (2025). Mengatasi miskonsepsi dalam pembelajaran IPA: Tantangan dan strategi untuk peningkatan pemahaman sains di sekolah dasar pada materi iklim dan perubahan. *Elementary School* 12, 12(1), 150–161.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1).
- Smith, K., Maynard, N., Berry, A., Stephenson, T., Spiteri, T., Corrigan, D., Mansfield, J., Ellerton, P., & Smith, T. (2022). Principles of problem-based

- learning (PBL) in STEM education: using expert wisdom and research to frame educational practice. *Education Sciences*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/educsci12100728>
- Suyamto, J. (2020). *Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK (technological, pedagogical, content, knowledge) untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa kelas XI pada materi sistem peredaran darah*. Universitas Sebelas Maret.
- Suyamto, J., Masykuri, M., & Sarwanto, S. (2020). Analisis kemampuan TPACK (technological, pedagogical, and content, knowledge) guru biologi SMA dalam menyusun perangkat pembelajaran materi sistem peredaran darah. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(1), 44–53. <https://doi.org/10.20961/inkui.v9i1.41381>
- Tejedor, G., Segalàs, J., & Rosas-Casals, M. (2018). Transdisciplinarity in higher education for sustainability: How discourses are approached in engineering education. *Journal of Cleaner Production*, 175, 29–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.085>
- Turmuzi, M., & Kurniawan, E. (2021). Kemampuan mengajar mahasiswa calon guru matematika ditinjau dari technological pedagogical and content knowledge (TPACK) pada mata kuliah micro teaching. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 5(3), 2484–2498.
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO Publishing.
- UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO Publishing.
- Utami, D. T., Roshayanti, F., Dewi, E. R. S., & Nugroho, A. S. (2023). Analisis bahan ajar biologi SMA ditinjau dari muatan sustainable development goals (SDGs). *JP3: Jurnal Pendidikan dan Profesi Pendidikan*, 9(1), 8–17. <https://doi.org/10.26877/jp3.v9i1.17029>
- Utomo, S. W., Sutriyono, & Rizal, R. (2012). *Pengertian, ruang lingkup ekologi dan ekosistem*. Universitas Terbuka.

- Wahyuna, I. (2024). *Pengembangan soal numerasi berbasis education for sustainable development (ESD) untuk mengukur kemampuan berpikir kritis*. Universitas Jember.
- Waluyo, E., & Nuraini, N. (2021). Pengembangan model pembelajaran creative problem solving terintegrasi TPACK untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 8(2), 191–205. <https://doi.org/10.21831/jrpm.v8i2.39354>
- Wardani, C. A., & Jatmiko, B. (2021). The effectiveness of TPACK-based learning physics with the PBL model to improve students' critical thinking skills. *International Journal of Active Learning*, 6(1), 17–26. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/ijal>
- Wilujeng, I., Dwandaru, W. S. B., & Rauf, R. A. B. A. (2019). The effectiveness of education for environmental sustainable development to enhance environmental literacy in science education: A case study of hydropower. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(4), 521–528. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i4.19948>
- Wulandari, Y., & Purwanto, W. E. (2017). Kelayakan aspek materi dan media dalam pengembangan buku ajar sastra lama. *Jurnal Gramatika: Jurnal Penelitian Bahasa dan Sastra Indonesia*, 3(2), 162–172. <https://doi.org/10.22202/jg.2017.v3i2.2049>
- Yuan, X., Yu, L., & Wu, H. (2021). Awareness of sustainable development goals among students from a chinese senior high school. *Education Sciences*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/educsci11090458>