

**PENGEMBANGAN *E-MODUL* ENERGI TERBARUKAN BERBASIS STEAM  
DENGAN PRINSIP *DEEP LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN  
KETERAMPILAN *COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING* DAN  
*ENTREPRENEURIAL SKILLS***

Oleh:

Rizki Mirantika

NPM: 2423022001



**PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### **PENGEMBANGAN *E-MODUL ENERGI TERBARUKAN BERBASIS STEAM* DENGAN PRINSIP *DEEP LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN *COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING* DAN *ENTREPRENEURIAL SKILLS***

Oleh

**Rizki Mirantika**

Pembelajaran energi terbarukan di sekolah masih didominasi oleh pendekatan teoretis dan belum optimal dalam mengintegrasikan konteks lingkungan lokal serta pengembangan keterampilan abad ke-21. Salah satu potensi lokal yang belum dimanfaatkan secara maksimal dalam pembelajaran adalah pengelolaan limbah organik singkong, yang memiliki kandungan elektrolit alami dan berpotensi digunakan sebagai sumber energi alternatif sederhana.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* untuk meningkatkan keterampilan *Collaborative Problem Solving* dan *Enterprenerial skills*. Penelitian ini menggunakan metode *Desaign and Development Reseach* (DDR) yang meliputi tahap desain, pengembangan, dan evaluasi.

Subjek penelitian melibatkan peserta didik SMA yang dibagi ke dalam kelas eksperimen dan kelas kontrol. Instrumen penelitian meliputi angket validasi ahli, angket kepraktisan, serta tes *pretest* dan *posttest* untuk mengukur peningkatan kemampuan *Collaborative Problem Solving* dan *Enterprenerial skills*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan berada pada kategori sangat valid dengan persentase sebesar 86,25% berdasarkan penilaian validator ahli dan praktisi, serta sangat praktis dengan persentase sebesar 92,50% berdasarkan respons peserta didik. Uji efektivitas menunjukkan nilai N-Gain menunjukkan katagori sedang dan hasil perhitungan *effect size* pada aspek CPS katagori sedang dan ES dengan katagori kecil. Dengan demikian, e-modul dinyatakan efektif sebagai sarana pembelajaran dalam meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* serta berkontribusi terhadap pengembangan *entrepreneurial skills* peserta didik.

Kata kunci: *Collaborative Problem Solving*, *Deep learning*, *Enterprenerial skills*, Energi terbarukan, STEAM,

## **ABSTRAK**

### **PENGEMBANGAN *E-MODUL ENERGI TERBARUKAN BERBASIS STEAM* DENGAN PRINSIP *DEEP LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN *COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING* DAN *ENTREPRENEURIAL SKILLS***

**Oleh**

**Rizki Mirantika**

Renewable energy learning in schools is still dominated by theoretical approaches and is not yet optimal in integrating the local environmental context and 21st century skill development. One of the local potentials that has not been utilized optimally in learning is the management of cassava waste, which has natural electrolyte content and has the potential to be used as a simple alternative energy source.

This research aims to develop STEAM-based renewable energy e-modules with deep learning principles to improve Collaborative Problem Solving and Entrepreneurial skills. This study uses the Design and Development Research (DDR) method which includes the design, development, and evaluation stages.

The research subjects involved high school students who were divided into experimental classes and control classes. The research instruments include expert validation questionnaires, practicality questionnaires, and pretest and posttest tests to measure the improvement of Collaborative Problem Solving and Entrepreneurial skills.

The results of the study show that the e-modules developed are in the category of being very valid with a percentage of 86.25% based on the assessment of expert validators and practitioners, and very practical with a percentage of 92.50% based on student responses. The effectiveness test showed that the N-Gain value showed medium category and the effect size calculation results in the medium category CPS and ES aspects with small category. Thus, e-modules are declared effective as a means of learning in improving collaborative problem-solving skills and contributing to the development of students' entrepreneurial skills.

**Keywords:** Collaborative Problem Solving, Deep learning, Entrepreneurial skills, Renewable energy, STEAM.

**PENGEMBANGAN *E-MODUL* ENERGI TERBARUKAN BERBASIS STEAM  
DENGAN PRINSIP *DEEP LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN  
KETERAMPILAN *COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING* DAN  
*ENTREPRENEURIAL SKILLS***

Oleh

**Rizki Mirantika**

Tesis

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

Pada

**Program Studi Magister Pendidikan Fisika  
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

Judul Tesis : **PENGEMBANGAN E-MODUL ENERGI TERBARUKAN BERBASIS STEAM DENGAN PRINSIP DEEP LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING DAN ENTREPRENEURIAL SKILLS**

Nama Mahasiswa : **Rizki Mirantika**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2423022001

Program Studi : Magister Pendidikan Fisika

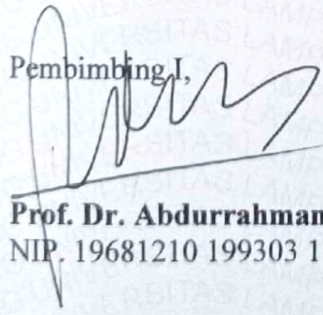
Jurusan : Pendidikan MIPA

Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

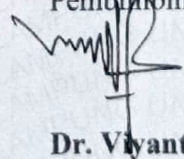
**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I,

  
**Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si.**  
NIP. 19681210 199303 1 002

Pembimbing II,

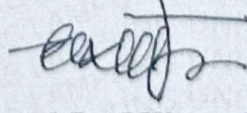
  
**Dr. Viyanti, M.Pd.**  
NIP. 19800330 200501 2 001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Pendidikan MIPA

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

Ketua Program Studi Magister Pendidikan Fisika

  
**Prof. Dr. I Wayan Distrik, M.Si.**  
NIP. 19631215 199102 1 001

**MENGESAHKAN**

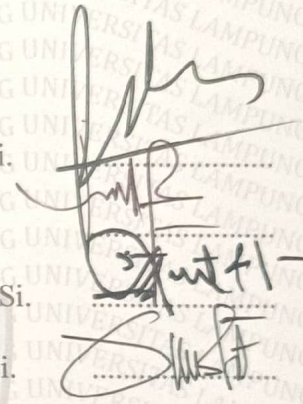
1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Dr. Viyanti, M.Pd.

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

Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si.



Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Dr. Albert Maydiantoro, S Pd., M.Pd.  
NIP. 19870504 201404 1 001

3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.  
NIP. 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 12 Mei 2026

## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah:

Nama : Rizki Mirantika  
NPM : 2423022001  
Fakultas/Jurusan : KIP/Pendidikan MIPA  
Program Studi : Pendidikan Fisika  
Alamat : Jl Al-Iman DWT Jaya, Kecamatan Banjar Agung,  
Kabupaten Tulang Bawang

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

Bandar Lampung, 12 Mei 2026

Yang menyatakan



Rizki Mirantika  
NPM. 2423022001

## **Riwayat Hidup**

Penulis dilahirkan di Tulang Bawang pada tanggal 14 Juni 1993, sebagai anak ke empat dari empat bersaudara pasangan Bapak Suhardi dan Ibu Rumiati. Penulis mengawali pendidikan formal di Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 1 Tridarma Wirajaya pada Tahun 2005. Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Negeri 4 Banjar Agung pada Tahun 2008, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri 2 Menggala pada Tahun 2011.

Pada tahun 2011, penulis diterima di program studi Pendidikan Fisika, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan di Universitas Lampung dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2024 penulis melanjutkan studi Magister Pendidikan Fisika Universitas Lampung.

## MOTTO

***“Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.”***  
**(QS. An-Najm: 39)**

***Allah Subhanahuwata’ala berfirman: “Hal itu adalah mudah bagi-Ku; dan sesungguhnya telah Aku ciptakan kamu sebelum itu, padahal kamu (di waktu itu) belum ada sama sekali”.***

**(Surat Maryam: 9)**

**Dengan tekad kuat, doa, keyakinan, kesungguhan, dan kesabaran, serta atas izin Allah *Subhanahuwata’ala*, segala sesuatu bisa terjadi.**  
***(Rizki Mirantika)***

## PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dan mengucapkan syukur kehadiran Allah SWT, Alhamdulillahirobbil'alamin, terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberiku kesehatan, kesabaran, ketabahan, ridho, dan kesempatan untuk menyelesaikan tesis ini dan saya persembahkan karya usaha terbaik ini kepada:

1. Suami tercinta, Nurwien Afif Alfianto yang selalu menyertai setiap langkah, memberi doa dan motivasi serta dukungan terbaik.
2. Keempat orang tua saya: Bapak Suhardi (*Alm*) dan Ibu Rumiati, Bapak Nuryadi Hartopo dan Ibu Dwiningsih Winarni, terima kasih atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang tulus selama perjalanan ini. Semoga Allah senantiasa menguatkan langkah untuk selalu membahagiakan dan membanggakan kalian.
3. Anak tercinta Hafshah Azi As-Sidiq yang dihadirkan Allah untuk membersamai ibu dari awal pendidikan sampai dengan saat ini, terimakasih selalu menjadi kekuatan ibu dalam menyelesaikan pendidikan ini. Semoga karya ini bisa menjadi salah satu motivasi anakku dikemudian hari untuk tidak lelah menuntut ilmu.
4. Kakak-kakak yang selalu mendukung, memberikan semangat dan doa.
5. Dosen pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing.
6. Mahasiswa Magister Pendidikan Fisika Angkatan 2024
7. Semua Sahabat yang selalu ada disetiap langkah perjalanan pendidikan.
8. Almamater tercinta Universitas Lampung, yang telah menjadi tempatku menimba ilmu, dan mengajarku tentang arti kehidupan.

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala, karena atas rahmat dan hidayahnya tesis ini dapat diselesaikan. Tesis ini dengan judul “: Pengembangan *E-Modul Energi Terbarukan Berbasis Steam Dengan Prinsip Deep Learning Untuk Meningkatkan Keterampilan Collaborative Problem Solving Dan Entrepreneurial Skills Siswa*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pendidikan di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd., selaku Dekan FKIP Universitas Lampung.
4. Dr. Nurhanurawati, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA.
5. Prof. Dr. I Wayan Distrik, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Pendidikan Fisika.
6. Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si. selaku pembimbing I diucapkan terimakasih atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik, saran dalam proses penyelesaian tesis ini.
7. Dr Viyati, M.Pd., selaku pembimbing II diucapkan terimakasih atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik, saran dalam proses penyelesaian tesis ini.
8. Prof. Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku Pembahas I dan Validator produk yang banyak memberikan bimbingan, saran, semangat, motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tesis.
9. Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si, selaku Pembahas II Validator produk yang banyak memberikan bimbingan, saran, semangat, motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tesis.

10. Dosen Magister Pendidikan Fisika Universitas Lampung yang telah membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh Pendidikan di Universitas Lampung.
11. Novi Haryanti, M.Pd. dan Endah, M.Pd. selaku validator produk.  
Terimakasih atas kritik dan saran terhadap produk yang dikembangkan.
12. Peserta didik kelas X-5 dan X-6 SMA Negeri 1 Banjar Agung, terimakasih atas kerjasamanya selama penelitian berlangsung.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.
14. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga tesis ini dapat berguna dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 12 Mei 2026

Penulis

Rizki Mirantika

## DAFTAR ISI

|   |            |
|---|------------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | <b>i</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | <b>ii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....   | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah.....  | 5          |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....   | 5          |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....   | 6          |
| 1.5. Ruang Lingkup Penelitian .....   | 6          |
| <b>II. KAJIAN PUSTAKA</b> .....   | <b>8</b>   |
| 2.1. Teori Belajar Konstruktivisme.....                                       | 8          |
| 2.2. Teori Belajar Konektivisme.....  | 9          |
| 2.3. Teori Belajar Behaviorisme .....   | 10         |
| 2.4. e-Modul.....   | 10         |
| 2.5. Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia ( <i>Multimedia Learning</i> ) .. | 12         |
| 2.6. STEAM ( <i>Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematic</i> )   | 13         |
| 2.5. Model Pembelajaran <i>Learning Cycle 7E</i> .....                        | 16         |
| 2.6. STEAM-7E .....   | 18         |
| 2.7. <i>Deep Learning</i> .....   | 20         |
| 2.8. <i>Collaborative Problem Solving</i> .....                               | 21         |
| 2.9. <i>Entrepreneurial Skills</i> .....                                      | 24         |
| 2.10. Energi terbarukan.....  | 25         |
| 2.11. Penelitian Relevan.....   | 26         |
| 2.11 Kerangka berpikir .....  | 29         |
| <b>III. METODE PENELITIAN</b> .....   | <b>32</b>  |
| 3.1 Desain Penelitian Pengembangan.....                                       | 32         |
| 3.2 Tahapan Penelitian.....   | 32         |
| 3.3 Instrumen Pengumpulan Data.....   | 50         |
| 3.4 Teknik Analisis Data .....  | 52         |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....   | <b>57</b>  |
| 4.1 Hasil .....   | 57         |
| 4.1.1 Tahap 1 – Analysis .....  | 57         |
| 4.1.2 Tahap 2 – <i>Design</i> (Perancangan) .....                             | 61         |
| 4.1.4 Tahap 3 – Pengembangan ( <i>Develop</i> ).....                          | 64         |
| 4.2 Pembahasan .....  | 75         |
| 4.2.1 Validitas .....   | 75         |
| 4.2.2 Kepraktisan .....   | 76         |
| 4.2.3 Efektivitas .....   | 77         |
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....  | <b>97</b>  |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 97         |
| 5.2 Saran .....   | 98         |

**DAFTAR TABEL**

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 1. Integrasi STEM dalam siklus pembelajaran 7E.....                   | 19      |
| Tabel 2. Matrix of Collaborative Problem Solving Skills for PISA 2015 ..... | 23      |
| Tabel 3. Skala Likert pada Skala Validasi .....                             | 51      |
| Tabel 4. Skala Likert pada Skala Keterbacaan dan Kemenarikan .....          | 51      |
| Tabel 5. Konversi Skor Penilaian Kevalidan Produk.....                      | 52      |
| Tabel 6. Konversi Skor Penilaian Kepraktisan Produk.....                    | 52      |
| Tabel 7. Kriteria Kevalidan Instrumen Tes.....                              | 53      |
| Tabel 8. Kriteria Koefisien Korelasi .....                                  | 53      |
| Tabel 9. Kriteria Koefisien Korelasi .....                                  | 54      |
| Tabel 10. Kriteria Nilai Effect Size.....                                   | 56      |
| Tabel 11. Kategori Nilai N-gain .....                                       | 56      |
| Tabel 12. Hasil Wawancara Guru .....  | 59      |
| Tabel 13. Hasil Validasi dari 4 Validator terhadap e-modul .....            | 64      |
| Tabel 14. Hasil Uji kepraktisan skala terbatas .....                        | 68      |
| Tabel 23. Hasil Uji ANCOVA Pengaruh Perlakuan Pembelajaran CPS .....        | 73      |
| Tabel 24. Hasil Uji ANCOVA Pengaruh Perlakuan Pembelajaran ES .....         | 74      |

## DAFTAR GAMBAR

|        |   |    |
|--------|---|----|
| Gambar | 1. Bagan Kerangka Pemikiran.....  | 31 |
| Gambar | 2. <i>Design and Development Research (DDR)</i> .....                                 | 32 |
| Gambar | 3. Diagram Alur Penelitian.....   | 47 |
| Gambar | 4. Hasil Uji Reliabilitas Butir Soal CPS.....   | 66 |
| Gambar | 5. Hasil Uji Reliabilitas Butir Soal ES .....   | 67 |
| Gambar | 6. Materi e-modul untuk pemahaman awal peserta didik .....                            | 80 |
| Gambar | 7. Tahap <i>Exploring &amp; Understanding</i> .....                                   | 81 |
| Gambar | 8. Tahap <i>Initiative</i> .....  | 81 |
| Gambar | 9. Materi e-modul membangkitkan minat peserta didik .....                             | 82 |
| Gambar | 10. Jawaban <i>representing and formulating</i> .....                                 | 83 |
| Gambar | 11. Jawaban <i>creativity inovation</i> .....   | 84 |
| Gambar | 12. Aktivitas eksplor peserta didik.....  | 85 |
| Gambar | 13. Aktivitas <i>Planning and Executing</i> serta <i>Creativity and Innovation</i> 86 | 86 |
| Gambar | 14. Soal <i>planning and executing</i> .....  | 86 |
| Gambar | 15. Jawaban <i>planning and executing</i> .....                                       | 87 |
| Gambar | 16. Aktivitas pada e-modul tahap menjelaskan.....                                     | 88 |
| Gambar | 17. Aktivitas <i>representing and formulating dan reflective communication</i> .....  | 88 |
| Gambar | 18. Jawaban hasil <i>posttest reflective communication</i> .....                      | 89 |
| Gambar | 19. jawaban <i>monitoring and reflecting</i> .....                                    | 90 |
| Gambar | 20. jawaban <i>risk taking</i> .....  | 91 |
| Gambar | 21. Produk Bio-Baterai.....   | 92 |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dunia saat ini menghadapi tantangan menipisnya sumber energi fosil, sehingga diperlukan inovasi dalam pengembangan energi terbarukan (Eshiomogie *et al.*, 2022). Isu ini telah diintegrasikan dalam kurikulum untuk menumbuhkan kesadaran energi berkelanjutan sejak dini (Ocetkiewicz *et al.*, 2017). Dalam pembelajaran fisika, materi energi terbarukan menjadi topik penting karena berkaitan dengan keberlanjutan global dan perkembangan teknologi (Yusra *et al.*, 2025). Oleh karena itu, materi ini menjadi elemen penting dalam pembelajaran fisika di kelas X agar peserta didik dapat memahami prinsip konversi energi dan menyadari betapa pentingnya pemanfaatan sumber energi yang berkelanjutan. Namun energi terbarukan memiliki karakteristik teoretis yang kompleks (Fadhilah *et al.*, 2025), sering kali menyulitkan siswa untuk mencapai pemahaman yang mendalam. Konsep ini diperkuat oleh praktik pembelajaran fisika yang kurang optimal dan minimnya bahan ajar interaktif, sehingga aktivitas keterlibatan siswa cenderung rendah (Anjani *et al.*, 2025).

Pembelajaran yang kurang menuntut aktivitas tersebut berdampak pada tidak optimalnya pengembangan kemampuan yang menjadi tuntutan utama pendidikan abad ke-21, khususnya *Collaborative Problem Solving* (CPS) yang terintegrasi dengan keterampilan kewirausahaan seperti inovasi dan pengambilan keputusan (Buseyne *et al.*, 2023; Falah & Marlina, 2022; Regina *et al.*, 2025; Rosnaeni, 2021). Kondisi pembelajaran tersebut berimplikasi langsung terhadap capaian siswa Indonesia dalam studi internasional. Temuan TIMSS dan PISA 2022 mengindikasikan bahwa mayoritas peserta didik masih berada pada level pemahaman dasar dan mengalami hambatan dalam menyelesaikan soal yang

memerlukan keterampilan berpikir tingkat tinggi serta kreativitas (Anisa *et al.*, 2025). Jika permasalahan ini tidak ditangani secara serius, kualitas pembelajaran fisika dan kesiapan peserta didik dalam menghadapi kompetisi global dikhawatirkan akan semakin menurun.

Berdasarkan hal tersebut perlu adanya inovasi dengan mengembangkan bahan ajar digital dalam bentuk *e-modul*. *E-modul* memberikan peluang bagi peserta didik untuk belajar secara mandiri, fleksibel, dan interaktif karena mampu mengintegrasikan teks, gambar, animasi, dan video dalam satu *platform* pembelajaran. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan *e-modul* terbukti mampu meningkatkan kreativitas dan prestasi belajar peserta didik, sekaligus memfasilitasi pemahaman terhadap konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak (Ricu Sidiq & Najuah, 2020).

Agar memenuhi kebutuhan pembelajaran abad ke-21, pengembangan *e-modul* dirancang dengan mengintegrasikan pendekatan pembelajaran yang menstimulasi kemampuan pemecahan masalah serta partisipasi aktif siswa. Salah satu kerangka yang relevan untuk tujuan tersebut melalui pendekatan STEAM (Rilianti *et al.*, 2023). Aktivitas terstruktur dalam *e-modul* pendekatan STEAM mendorong berkembangnya kemampuan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif sebagai keterampilan utama abad ke-21 (Hasanah *et al.*, 2023). Pendekatan STEAM berorientasi pada pembelajaran berpusat pada siswa, berbasis proyek, kolaboratif, dan berbasis desain sehingga mampu memberikan pengalaman belajar yang menyeluruh (Nuragnia *et al.*, 2021), serta terbukti dapat melatih keterampilan kolaborasi dan komunikasi serta mengembangkan berbagai *soft skills* (Roshayanti *et al.*, 2022; Rilianti *et al.*, 2023). Penelitian sebelumnya juga menyebutkan pendekatan STEAM yang diintegrasikan dengan model *Learning Cycle 7E* efektif dalam pembelajaran fisika (Kocakaya & Gonen, 2010; Yuliana *et al.*, 2020).

Sejalan dengan penelitian sebelumnya, salah satu rancangan pembelajaran yang dinilai relevan dan potensial meningkatkan keterampilan abad 21 khususnya CPS

dan *enterpreneur* adalah prinsip *deep learning* (Nurhidayanti, 2025). Prinsip *deep learning* menekankan pemahaman konseptual yang mendalam serta kemampuan mengaitkan pengetahuan dengan konteks nyata, sekaligus mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi (Hariyanti, 2024; Otto *et al.*, 2020). Dengan demikian, integrasi STEAM, *deep learning*, dan model 7E berpotensi meningkatkan kualitas pembelajaran dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21 secara optimal. Salah satu materi yang relevan untuk mendukung pengembangan keterampilan tersebut adalah energi terbarukan, karena berkaitan langsung dengan isu global seperti krisis energi (Ang *et al.*, 2022).

Namun demikian, meskipun isu energi terbarukan memiliki keterkaitan yang kuat dengan tantangan global, implementasinya dalam pembelajaran fisika di sekolah masih belum sepenuhnya mengakomodasi potensi kearifan lokal yang dapat meningkatkan keterampilan CPS dan kewirausahaan (Nurhidayanti, 2025) (Mustaqim *et al.*, 2017). Padahal, integrasi kearifan lokal dapat menjadi penghubung penting antara materi energi terbarukan dan pengalaman nyata siswa, sehingga pembelajaran tidak hanya selaras dengan isu global, tetapi juga relevan dalam kehidupan sehari-hari. Melalui pemanfaatan praktik dan sumber daya lokal, siswa dapat memahami konsep energi alternatif secara lebih kontekstua.

Hasil analisis kebutuhan guru melalui *google form* dalam pembelajaran fisika materi energi terbarukan yang terdiri dari 35 orang guru fisika SMA se provinsi Lampung menunjukkan 85,7% belum memanfaatkan kearifan lokal dalam pembelajaran energi terbarukan. Sedangkan di sisi lain sebanyak 42,9% guru masih mengalami hambatan dalam pembelajaran energi terbarukan. Kendala tersebut terutama berkaitan dengan keterbatasan sumber belajar, seperti minimnya literatur yang sesuai konteks, kurangnya media visual dan simulasi untuk menjelaskan mekanisme teknologi energi terbarukan, serta tidak tersedianya perangkat eksperimen sederhana yang mendukung kegiatan praktikum atau proyek. Hal ini disebabkan oleh temuan bahwa sebanyak 85,7% responden menyatakan bahan ajar yang digunakan belum mengintegrasikan teks, gambar,

animasi, dan video, serta sebanyak 74,3% menyatakan bahan ajar yang digunakan belum menampilkan gambar-gambar yang kontekstual selaras dengan materi energi terbarukan.

Berbagai penelitian mengenai pengembangan *e*-modul energi terbarukan telah dilakukan, seperti oleh Setyaningsih *et al.*, 2025, Zulaika *et al.*, 2022, Nurasiah *et al.*, 2025, dan Nurasiah *et al.*, 2025. Namun, *e*-modul yang secara khusus mengintegrasikan kearifan lokal dan berfokus pada penguatan *Collaborative Problem Solving* (CPS) serta *entrepreneurial skills* masih sangat terbatas. Hal ini sejalan dengan temuan analisis kebutuhan, sebanyak 45,7% guru belum pernah mengevaluasi keterampilan CPS siswa dan hanya 14,3% yang telah mengintegrasikan unsur kewirausahaan dalam pembelajaran. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan terhadap bahan ajar yang mampu memfasilitasi pengembangan dan evaluasi kedua keterampilan tersebut.

Di sisi lain, materi fisika seperti energi terbarukan menuntut pendekatan pembelajaran yang tidak hanya menekankan pemahaman konsep, tetapi juga kemampuan analitis dan kolaboratif agar siswa mampu mengaplikasikan pengetahuan dalam konteks nyata (Gencer, 2023; Wright, 2018). Pendekatan CPS menjadi relevan karena efektif dalam meningkatkan kemampuan kognitif, analitis, dan komunikasi siswa saat memecahkan masalah kompleks (Mitropoulos, 2023). Selain itu, energi terbarukan memiliki urgensi strategis sebagai materi yang mendorong siswa mengenali peluang inovatif dalam pemanfaatan sumber daya alternatif (Amalu *et al.*, 2023). Penguatan kreativitas, inovasi, dan pengambilan keputusan sebagai bagian dari *entrepreneurial skills* memungkinkan siswa merancang solusi aplikatif dan berkelanjutan (Falah & Marlana, 2022). Dengan demikian, pembelajaran energi terbarukan tidak hanya membekali siswa dengan pemahaman ilmiah, tetapi juga kemampuan menilai potensi dan peluang pengembangannya dalam kehidupan nyata.

Merujuk pada kebutuhan tersebut, pengembangan *e*-modul fisika berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* pada materi energi terbarukan menjadi

langkah strategis untuk menciptakan pembelajaran yang lebih interaktif, bermakna, dan relevan dengan tuntutan kurikulum serta keterampilan abad ke-21 (Zulaika *et al.*, 2022). *E*-modul yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai sumber belajar digital, tetapi juga berperan sebagai sarana untuk mengintegrasikan keterampilan abad ke-21, meliputi berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, serta kemampuan pemecahan masalah kompleks. Penelitian ini diharapkan menjadi solusi terhadap keterbatasan bahan ajar yang ada dan mampu mendorong penguatan keterampilan abad ke-21 secara lebih sistematis dan terukur dalam pembelajaran energi terbarukan di sekolah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana *e*-modul energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan dapat meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills* siswa?
2. Bagaimana tingkat validitas *e*-modul energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan dapat meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills* siswa?
3. Bagaimana kepraktisan penggunaan *e*-modul energi terbarukan dalam pelaksanaan pembelajaran fisika STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan untuk meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills*?
4. Bagaimana efektivitas *e*-modul energi terbarukan STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan untuk meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian ini:

1. Mendeskripsikan *e*-modul energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan untuk meningkatkan keterampilan

*collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills* siswa.

2. Mendeskripsikan kevalidan *e-modul* energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan untuk meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills* siswa.
3. Mendeskripsikan kepraktisan penggunaan *e-modul* energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan untuk meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills*.
4. Mendeskripsikan efektivitas *e-modul* energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* hasil pengembangan untuk meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneur skills*.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1) Bagi Guru

Manfaat penelitian ini bagi guru adalah untuk memberikan alternatif bahan ajar berupa *e-modul* energi terbarukan yang kontekstual dan interaktif, serta mendukung peningkatan keterampilan kolaboratif dan kewirausahaan siswa.

##### 2) Bagi Peserta Didik

Manfaat penelitian ini bagi peserta didik adalah untuk meningkatkan *Collaborative Problem Solving dan Entrepreneur Skills* melalui pembelajaran engalaman belajar yang menyenangkan, menantang, dan bermakna.

##### 3) Bagi Sekolah

Manfaat penelitian ini bagi sekolah yaitu dapat menjadi sumber informasi dan sumbangan pemikiran dalam upaya meningkatkan mutu pendidikan khususnya fisika di sekolah.

#### **1.5. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini sebagai berikut.

1. Produk yang dihasilkan dari penelitian pengembangan ini berupa *e-modul* berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* sebagai landasan pedagogis, serta mengacu pada sintaks 7E yang diimplementasikan melalui LKPD.

2. Uji kevalidan dilakukan untuk menilai kelayakan isi, media, dan desain *e-modul* melalui penilaian oleh tiga ahli, yaitu ahli materi, ahli media, dan ahli pembelajaran. Instrumen dikatakan valid jika hasil respon ahli  $\geq 60\%$ .
3. Uji kepraktisan mencakup uji keterbacaan dan kemenarikn *e-modul* oleh respon peserta didik terhadap *e-modul* dalam proses pembelajaran. Instrumen dikatakan praktis jika hasil respon ahli  $\geq 70\%$ .
4. Uji efektivitas dilakukan untuk mengetahui dampak penggunaan *e-modul* terhadap peningkatan keterampilan *Collaborative Problem Solving dan Entrepreneur Skills*, melalui pengukuran *pretest* dan *posttest* pada kelompok eksperimen sebelum dan sesudah pembelajaran.
5. Indikator *collaborative problem solving* yang digunakan menurut PISA 2015 dengan indikator *Exploring and understanding, Representing and formulating, Planning and executing, dan Monitoring and reflecting*.
6. Indikator *enterprenurial skills* yang digunakan menurut Susantiningrum dengan indikator inisiativ, inovasi kreatif, komunikasi reflektif dan pengambilan risiko.
7. *E-modul* yang dikembangkan dalam penelitian ini disajikan dan diakses melalui *platform Hyzine*.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Teori Belajar Konstruktivisme

Teori belajar Konstruktivisme merupakan kelanjutan dari teori belajar kognitif. Tokoh yang berperan pada teori ini adalah Jean Piaget dan Lev Vygotsky (Winarni, 2024). Teori belajar ini menyatakan pendekatan dalam pendidikan yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun oleh individu melalui pengalaman dan interaksi dengan lingkungan, berfokus pada peserta didik (*student Centre*). Guru berperan sebagai fasilitator (Dewi & Fauziati, 2021). Pembelajaran dengan paradigma konstruktivis tidak hanya memberikan siswa informasi yang diperlukan, namun juga membantu mengembangkan keterampilan berfikir kritis, pemecahan masalah dan kolaborasi yang diperlukan untuk berhasil dalam dunia yang terus berubah (Salsabila & Muqowim, 2024).

Pendekatan konstruktivisme memperkaya pengalaman belajar dengan memberikan ruang bagi refleksi, diskusi, dan kolaborasi, sehingga memberikan kontribusi positif terhadap perkembangan intelektual dan pemahaman siswa (Tohari & Rahman, 2024). Hal ini relevan dengan pendekatan STEAM yang digunakan dalam penelitian ini, karena kedua pendekatan ini menekankan keterlibatan peserta didik secara aktif dalam memecahkan masalah otentik melalui kerja kelompok dan eksplorasi lintas disiplin. Saat praktik pembelajaran, prinsip ini diwujudkan melalui penggunaan *e*-modul interaktif yang mengarahkan peserta didik untuk berdiskusi, berbagi gagasan, dan menyusun strategi penyelesaian masalah project energi alternatif secara kolaboratif. Interaksi sosial tersebut mencerminkan kegiatan belajar yang aktif dan bermakna dan kolaborasi dalam kelompok dalam STEM meningkatkan pencapaian konsep dan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

## 2.2. Teori Belajar Konektivisme

Memasuki abad 21 dan revolusi industri 4.0 dan 5.0, dunia pendidikan saat ini dituntut untuk dapat menyesuaikan diri dengan perubahan yang ada. Diantara keterampilan abad 21 yang harus dikuasai adalah literasi digital baik literasi informasi, literasi media, dan literasi ICT (Kontesa & Fauzia, 2022).

Pembelajaran dilakukan dengan lebih modern yaitu berbasis teknologi. Salah satu teori pendidikan yaitu teori dikembangkan oleh George Siemens dan Stephen Downes mengembangkan teori belajar konektivisme untuk era digital, teori belajar modern yang lebih menekankan pada pentingnya jaringan informasi dan koneksi antar pengetahuan, khususnya dalam era digitalisasi (Ajito, 2024).

Pembelajaran dalam era digital bukan hanya sekadar proses akumulasi pengetahuan individu, tetapi juga mencakup koneksi dan interaksi dalam jaringan yang lebih luas, baik itu dengan orang lain, sumber daya digital, maupun media (Yuono *et al.*, 2025)

Sesuai dengan perspektif teori belajar konektivisme di atas, maka memasuki abad 21 pemanfaatan pembelajaran berbasis elektronik dalam dunia pendidikan menjadi menjadi solusi strategis (Kontesa & Fauzia, 2022). Perkembangan teknologi saat ini membuat perubahan terhadap bahan ajar salah satunya pengembangan bahan ajar digital yaitu *e-modul* atau modul elektronik (Latri, 2023). Teori belajar konektivisme ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan karena prinsipnya mendukung pengembangan *e-modul* sebagai bahan ajar digital, tidak hanya berfungsi sebagai media penyampaian materi, tetapi juga sebagai sarana yang memfasilitasi keterhubungan antara peserta didik, guru, dan berbagai sumber belajar daring. Karakteristik *e-modul* yang dikembangkan meliputi akses digital, integrasi sumber eksternal, aktivitas berbasis proyek, video pembelajaran asesmen formatif interaktif, serta refleksi diri. *E-modul* ini juga mendukung pembelajaran mandiri sekaligus mengembangkan keterampilan *CPS* dan *Entertprenerial* serta literasi digital sebagai bagian dari kompetensi abad ke-21.

### 2.3. Teori Belajar Behaviorisme

Teori behaviorisme merupakan salah satu pendekatan dalam psikologi yang menekankan pada perilaku yang dapat diamati dan diukur (Isnaini *et al.*, 2023). Salah satu teori psikologi yang dapat digunakan untuk menanamkan kebiasaan belajar yang efektif adalah *classical conditioning*, yang pertama kali diperkenalkan oleh Ivan Pavlov pada abad ke-20 (Lubis *et al.*, 2025). Teori *classical conditioning* menjelaskan bahwa suatu respons baru dapat dibentuk melalui pemberian stimulus positif seperti penghargaan, pujian, atau bentuk penguatan lain dapat meningkatkan motivasi belajar peserta didik (Jihad Bawadi *et al.*, 2025).

Prinsip *classical conditioning* diintegrasikan dalam *e-modul* melalui penyediaan stimulus positif yang ditempatkan beberapa bagian pembelajaran. Pada bagian apersepsi, *e-modul* menghadirkan pertanyaan pemantik, ilustrasi menarik, dan contoh kontekstual yang berfungsi membangun ketertarikan awal siswa terhadap materi. Stimulus positif juga diberikan melalui umpan balik pada latihan dan aktivitas, di mana apresiasi verbal atau penguatan terhadap jawaban dan proses berpikir siswa berperan sebagai penguatan untuk meningkatkan motivasi dan kepercayaan diri. Selain itu, penggunaan visual kontekstual, warna yang konsisten, dan animasi sederhana turut memberikan stimulus yang menciptakan pengalaman belajar yang nyaman dan minim kecemasan. Pada bagian refleksi, penguatan berupa penghargaan akademik disisipkan untuk memperkuat asosiasi positif siswa terhadap kegiatan belajar. Integrasi berbagai bentuk stimulus ini mendukung terciptanya kebiasaan belajar yang lebih antusias dan konstruktif, sehingga sejalan dengan tujuan *e-modul* dalam mendorong keterlibatan serta motivasi belajar peserta didik.

### 2.4. *e-Modul*

Pemanfaatan teknologi dalam kegiatan pembelajaran mendorong perlunya pengembangan bahan ajar yang adaptif dan inovatif agar selaras dengan tuntutan pembelajaran modern. Salah satu bentuk bahan ajar yang merepresentasikan integrasi teknologi dalam pembelajaran adalah *e-modul* (Shelfia, 2025).

*E*-modul dirancang sebagai bahan ajar digital yang tersusun secara terstruktur dan diperkaya dengan berbagai unsur multimedia, seperti teks, visual, animasi, dan video, yang dapat diakses melalui perangkat digital secara daring (Rahmawati, 2023). Karakteristik tersebut memungkinkan peserta didik untuk belajar secara mandiri serta berpartisipasi lebih aktif dalam proses pembelajaran. Sejalan dengan hal tersebut, sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan *e*-modul, khususnya yang dikembangkan berbasis masalah, terbukti efektif dalam melatih keterampilan proses sains peserta didik (Widyanti, 2021).

Berbeda dengan modul cetak konvensional, *e*-modul tidak hanya menyajikan materi dalam bentuk teks, tetapi juga dilengkapi dengan unsur multimedia seperti video dan animasi yang memungkinkan peserta didik terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran (Fajaryati & Pranoto, 2013).

*E*-modul memiliki peran strategis dalam sistem *e-learning* karena keberadaannya memungkinkan proses pembelajaran berlangsung secara berkelanjutan.

Pemanfaatan *e*-modul dalam *e-learning* juga sejalan dengan karakteristik pembelajaran berbasis jejaring sosial, yang memberikan kemudahan bagi pendidik dalam mendokumentasikan serta memantau rekam jejak interaksi peserta didik, khususnya dalam kegiatan pembelajaran kolaboratif (Apsari & Kustijono, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Irwansayah *et al.*, 2017 menyoroti perbandingan efektivitas penggunaan bahan ajar dalam bentuk modul cetak dan *e*-modul. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa modul cetak belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan belajar peserta didik karena penyajian materinya cenderung bersifat informatif dan kurang menarik.

Integrasi teknologi informasi dalam proses pembelajaran berperan penting dalam mempercepat alih pengetahuan kepada peserta didik. Kondisi tersebut mendorong pengembangan bahan ajar berbasis teknologi informasi dan komunikasi, salah satunya melalui pengembangan modul elektronik atau *e*-modul sebagai inovasi pembelajaran yang relevan dengan tuntutan pembelajaran modern (Darmaji *et al.*, 2019). Penggunaan aplikasi pendukung seperti *flipbook* memungkinkan penyajian

materi pembelajaran secara lebih dinamis melalui kombinasi video, animasi, dan audio, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih menarik dan interaktif serta mengurangi kesan monoton (Fonda, 2018). Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa *e-modul* memiliki keunggulan sebagai bahan ajar karena disusun secara sistematis, praktis, dan komunikatif, sehingga mampu meningkatkan minat dan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Ambiyar *et al.*, 2019) yang menegaskan bahwa bahan ajar berbasis teknologi informasi berkontribusi dalam menstimulasi pola berpikir peserta didik secara lebih efektif.

Adapun *e-modul* yang dirancang dalam penelitian ini berbasis digital dengan multirepresentatif dengan penyajian materi dalam bentuk teks, gambar, video, animasi, dan simulasi untuk memperkuat pemahaman konseptual bersifat interaktif dan kolaboratif melalui proyek berbasis masalah, diskusi, serta tugas kelompok yang melatih *Collaborative Problem Solving*. Pengembangannya mengintegrasikan prinsip *deep learning* (joyful, mindful, kindful) dengan desain menarik, aktivitas reflektif, serta pembelajaran kolaboratif yang menumbuhkan empati dan tanggung jawab sosial. Selain itu, *e-modul* mendukung penguatan *entrepreneurial skills* melalui proyek kontekstual berbasis peluang usaha. Bersifat fleksibel dan mudah diakses melalui berbagai perangkat, *e-modul* juga terintegrasi dengan sistem *e-learning* untuk memfasilitasi monitoring dan dokumentasi pembelajaran secara berkelanjutan.

## **2.5. Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia (*Multimedia Learning*)**

Pendidikan telah mengalami perubahan signifikan melalui integrasi teknologi, dengan salah satu inovasi terbesar adalah penggunaan multimedia sebagai sarana pembelajaran yang lebih efektif, interaktif, dan adaptif di era digital Sugiantoro *et.al.*, 2025. Pembelajaran multimedia, yang didefinisikan sebagai kombinasi dari modalitas seperti teks, gambar, audio, animasi, dan elemen interaktif, memiliki potensi luar biasa dalam meningkatkan kualitas transfer informasi (Cholid, 2021).

Pada teori kognitif pembelajaran multimedia (*The Cognitive Theory of Multimedia Learning*) terdapat beberapa prinsip yang bisa dijadikan pedoman dalam merancang multimedia dan *e-learning* atau presentasi yang informasinya terdiri dari teks, grafik (gambar), video dan audio untuk mengoptimalkan pembelajaran. Prinsip-prinsip tersebut telah diteliti dengan menggunakan berbagai macam kondisi pembelajaran multimedia untuk menentukan hasil mana yang terbaik untuk pembelajaran para siswa (Clark & Mayer, 2011).

Perpaduan ini memungkinkan siswa untuk memproses informasi melalui saluran visual dan verbal secara bersamaan, sebuah mekanisme yang sangat relevan dengan teori *Multimedia Learning (TMM)* Mayer (2002). Dengan menggunakan prinsip *multimedia learning*, siswa dapat melakukan tiga bagian penting dari proses pembelajaran. Bagian yang pertama yaitu *selecting*, dimana suatu informasi lisan yang diterima, diterjemahkan menjadi suatu teks dan informasi visual yang diterima, diterjemahkan menjadi suatu gambar. Proses yang kedua yaitu *organizing*, dimana informasi dalam bentuk kata atau kalimat diterjemahkan menjadi suatu model berbasis lisan (*verbally-based model*), untuk sistem penjelasan dan informasi dalam bentuk gambar diterjemahkan menjadi model berbasis visual (*visual-based model*). Proses yang ketiga yaitu *integrating*, hal ini terjadi ketika siswa mencoba untuk membangun koneksi antara peristiwa atau bagian yang saling berhubungan dalam *verbally-based model* dan *visual-based model* (Manongga *et al.*, 2009).

Dengan demikian, prinsip-prinsip dalam Teori *Multimedia Learning* Mayer sejalan dengan pengembangan *e-modul* ini, karena struktur *e-modul* yang memadukan teks, gambar, ilustrasi, dan video dirancang untuk mendukung proses *selecting*, *organizing*, dan *integrating* secara optimal.

## **2.6. STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics)**

Pada Era 4.0 pendidikan dengan pergerakan manusia pada perilaku digital dan teknologi. Dan tibalah pada era 5.0 yang mana pola pertukaran informasi yang sudah terbentuk sehingga diperoleh *Big Data* yang berasal dari Internet. Salah

satu upaya untuk dapat mencapai tujuan Pendidikan yang mampu mengembangkan sains dan teknologi yakni dengan menerapkan pembelajaran abad 21 melalui pendekatan STEAM (*science, technology, arts, and mathematics*).

Pendekatan pembelajaran STEAM merupakan kunci penting pendidikan menyongsong era 5.0. yang berpusat pada siswa sebagai suatu pembelajaran yang terintegrasi (Mu'minah, 2021). Hasil penelitian dalam buku Roshayanti, Wijayanti, & Purnamasari (2022) dalam Pendekatan STEAM dapat melatih keterampilan kolaborasi dan komunikasi karena pembelajarannya dilakukan secara berkelompok. STEAM dapat mengembangkan soft skill siswa antara lain kerja sama, berpikir kritis, peduli lingkungan, tanggung jawab, keterampilan beradaptasi, kepemimpinan, dan jujur (Rilianti *et al.*, 2023).

Pendekatan STEAM menggabungkan unsur sains, teknologi, teknik, seni, dan matematika sehingga pelajaran yang diajarkan dapat menumbuhkan rasa ingin tahu siswa dan menginspirasi mereka untuk memiliki kemampuan berpikir tingkat tinggi, seperti pemecahan masalah, belajar mandiri dan proyek (Najamuddin *et al.*, 2022). Karakteristik STEAM bersifat kontekstual sesuai dengan permasalahan yang sedang atau telah terjadi sehingga dapat melatih kemampuan problem solving siswa dengan mengidentifikasi dan menganalisis melalui aspek sains serta matematika serta dapat menghasilkan proyek yang menggunakan aspek teknologi, teknik, dan seni dalam membuatnya (Putri & Taqiudin, 2021; Tan *et al.*, 2021). Proyek dibuat sesuai dengan solusi dari permasalahan yang sedang atau telah terjadi. Konsep pendekatan STEAM yakni pembelajaran yang berpusat pada siswa; berbasis proyek, kolaboratif, desain, dan kooperatif untuk mendorong pendidikan yang menyeluruh (Nuragnia *et al.*, 2021).

*National Governors Association Center for Best Practices* milik Amerika (dalam Asmuniv, 2015) mendefinisikan literasi STEAM menurut masing-masing lima bidang STEAM. Definisi Literasi STEAM Bidang STEAM Literasi :

a) *Science* (Sains) Literasi IPA : kemampuan dalam mengidentifikasi informasi

ilmiah, merumuskan dan menganalisis masalah, melakukan eksperimen dengan metode ilmiah, mengumpulkan data dan menganalisisnya menuju sebuah simpulan, lalu mengaplikasikannya dalam dunia nyata yang juga mempunyai peran dalam mencari solusi.

- b) *Technology* (Teknologi) Literasi teknologi : keterampilan dalam menggunakan berbagai teknologi, belajar mengembangkan teknologi, menganalisis teknologi dapat mempengaruhi pemikiran siswa dan masyarakat.
- c) *Engineering* (Teknik) Literasi teknik : kemampuan dalam mengembangkan teknologi dengan desain yang lebih kreatif dan inovatif melalui penggabungan berbagai bidang keilmuan.
- d) *Art* Literasi seni : kemampuan dalam menulis, komunikasi, puisi, presentasi video, membuat model.
- e) *Mathematics* (Matematika) Literasi matematika : kemampuan dalam menganalisis dan menyampaikan gagasan, rumusan, menyelesaikan masalah secara matematik dalam pengaplikasiannya.

Pendekatan STEAM berkontribusi penting dalam meningkatkan kreativitas ilmiah melalui integrasi ilmu pengetahuan, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika, sehingga mampu memperkuat daya saing ilmu pengetahuan nasional melalui konvergensi lintas disiplin (Anggraeni & Suratno, 2021). Dalam konteks pengembangan *e-modul* pada penelitian ini, integrasi STEAM menjadi landasan penting. Penerapan STEAM melalui *e-modul* tidak hanya mendorong pemecahan masalah secara kreatif, tetapi juga secara langsung mendukung pengembangan *soft skills* yang relevan dengan tujuan penelitian, seperti kerja sama, berpikir kritis, kreativitas, adaptabilitas, dan tanggung jawab. Dengan demikian, *e-modul* berbasis STEAM yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai sumber belajar digital, tetapi juga sebagai sarana untuk mengoptimalkan pengembangan keterampilan abad ke-21, termasuk keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skills* yang menjadi fokus utama penelitian.

## 2.5. Model Pembelajaran *Learning Cycle 7E*

*Learning Cycle 7E* merupakan model pembelajaran dengan pendekatan konstruktivis yang pada awalnya terdiri dari tiga tahap, yaitu: *exploration*, *introduction*, dan *application* (Nurfadhilah *et al.*, 2024). Sesuai perkembangan, versi siklus belajar bermunculan dalam kurikulum sains dengan fase yang berkisar dari tiga kelima (5E) sampai tujuh (7E). Siklus 5E berdasarkan pengajaran yang dibangun oleh biological Sciences Curriculum Study (BSCS) pada tahun 1989, terdiri dari lima fase yaitu *engage*, *explore*, *explain*, *elaborate* dan *evaluate*. Setelah siklus belajar mengalami pengkhususan menjadi 5 tahapan, maka pengembangan siklus belajar menjadi 7 tahapan. Perubahan yang terjadi pada tahapan siklus 5E menjadi 7E terjadi pada tahap *engage* menjadi 2 tahapan yaitu menjadi *elicit* dan *engage*, sedangkan pada tahap *elaborate* dan *evaluate* menjadi 3 tahapan yaitu menjadi tahap *elaborate*, *evaluate* dan *extend* (Andani & Utami, 2019).

*Learning Cycle* merupakan serangkaian kegiatan belajar yang berpusat pada siswa (student centered). *Learning Cycle* terdiri atas tahap-tahap kegiatan (fase) yang diorganisir sedemikian rupa sehingga siswa dapat menguasai kompetensi-kompetensi yang harus dicapai dalam pembelajaran dengan jalan berperan aktif melalui 7 fase, yaitu, *elicit* (tahapan mendatangkan atau memunculkan pengetahuan awal siswa); *engage* (tahapan merangsang ide dan memotivasi siswa); *explore* (tahapan siswa mendapatkan pengetahuan melalui pengalaman langsung); *explain* (tahapan siswa untuk memaparkan konsep); *elaborate* (tahapan siswa menerapkan simbol, definisi, atau konsep), *evaluate* (tahapan evaluasi dari pembelajaran yang telah dilakukan); *extend* (tahapan siswa dalam menghubungkan konsep yang dipelajari dengan konsep lain) (Sarwoko *et al.*, 2023).

Secara terperinci mode pembelajaran *Learning Cycle 7E* memiliki 7 tahap/fase antara lain, *elicit* (mendatangkan pengetahuan awal siswa), yaitu fase untuk mengetahui sampai dimana pengetahuan awal siswa terhadap pelajaran yang akan dipelajari dengan memberikan pertanyaan-pertanyaan yang merangsang

pengetahuan awal agar timbul respon dari pemikiran siswa serta menimbulkan kepenasaranan tentang jawaban dari pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh guru.

*Engage* (ide, rencana pembelajaran dan pengalaman), yaitu fase dimana siswa dan guru dan saling memberikan informasi dan pengalaman tentang pertanyaan-pertanyaan awal tadi, memberitahukan siswa tentang ide dan rencana pembelajaran sekaligus memotivasi siswa agar lebih berminat untuk mempelajari konsep dan perhatian guru dalam mengajar. *Explore* (menyelidiki), yaitu fase yang membawa siswa untuk memperoleh pengetahuan dengan pengalaman langsung yang berhubungan dengan konsep yang akan dipelajari. Siswa dapat mengobservasi, bertanya, dan menyelidiki konsep dari bahan-bahan pembelajaran yang telah disediakan sebelumnya.

*Explain* (menjelaskan), yaitu fase yang didalamnya berisi ajakan terhadap siswa untuk menjelaskan konsep-konsep dan definisi-definisi awal yang didapatkan ketika fase eksplorasi. Kemudian dari definisi dan konsep yang telah ada didiskusikan sehingga pada akhirnya menuju konsep dan definisi yang lebih formal. *Elaborate* (menerapkan), yaitu fase yang bertujuan untuk membawa siswa menerapkan simbol - simbol, definisi - definisi, konsep - konsep, dan keterampilan - keterampilan pada permasalahan - permasalahan yang berkaitan dengan contoh dari pelajaran yang dipelajari.

*Evaluate* (menilai), yaitu fase evaluasi dari hasil pembelajaran yang telah dilakukan. Pada fase ini dapat digunakan berbagai strategi penilaian formal dan informal. *Extend* (memperluas), yaitu fase yang bertujuan untuk berpikir, mencari, menemukan dan menjelaskan contoh penerapan konsep yang telah dipelajari bahkan kegiatan ini dapat merangsang siswa untuk mencari hubungan konsep yang dipelajari dengan konsep lain yang sudah atau belum dipelajari (Andani & Utami, 2019).

*Learning Cycle 7E* diintegrasikan dalam bagian LKPD pada *e-modul* sebagai kerangka pembelajaran konstruktivis yang sistematis dan berpusat pada siswa. Setiap fase—*elicit, engage, explore, explain, elaborate, evaluate, dan extend*—dirancang dalam bentuk aktivitas digital seperti pertanyaan pemantik, eksplorasi melalui simulasi atau analisis data, diskusi kolaboratif, proyek berbasis masalah, asesmen formatif, serta tugas pengembangan lanjutan.

Integrasi ini menjadikan LKPD dalam *e-modul* tidak hanya sebagai lembar kerja, tetapi sebagai panduan pembelajaran aktif yang mendukung pemahaman mendalam, kolaborasi, refleksi, serta penguatan *Collaborative Problem Solving* dan *Entrepreneurial Skills* sesuai prinsip *deep learning*.

## 2.6. KAITAN STEAM DAN 7E

Pendekatan STEAM harus menciptakan ruang transdisipliner yang tidak mengacu pada kategori disiplin ilmu tertentu. Pendekatan STEAM belum optimal, oleh karena itu diperlukan model pembelajaran yang sesuai, salah satunya adalah *Learning Cycle 5E* (Anggraeni & Suratno, 2021a). Dimana terjadi perubahan pada tahapan siklus 5E menjadi 7E (Andani & Utami, 2019). Model 5E mendukung penerapan prinsip STEAM dengan memberikan tahapan yang sistematis dan mendalam, sehingga siswa tidak hanya memahami konsep secara teoritis tetapi juga mampu mengaplikasikannya secara kreatif dan kolaboratif dalam dunia nyata. Kedua pendekatan ini saling memperkuat untuk mencapai pembelajaran yang bermakna dan berorientasi pada pengembangan kompetensi abad 21.

Dalam siklus belajar 7E, siswa memiliki kesempatan untuk membangun pengetahuan mereka sendiri berdasarkan konsep-konsep yang telah diketahui diintegrasikan dengan *Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics* (STEAM).

Berikut rencana pelaksanaan pembelajaran yang disusun dengan mengintegrasikan STEM dalam model siklus belajar 7E (Azizah *et al.*, 2020) yaitu:

Gambar 1. Integrasi STEM dalam siklus pembelajaran 7E

Tabel 1. Integrasi STEM dalam siklus pembelajaran 7E

| <i>Syntax of 7E</i>   | Aspek STEM dalam pembelajaran siklus belajar 7E  |
|-----------------------|--|
| 1. <i>Elicit</i>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Sains</i> (metode ilmiah): Bentuk pertanyaan/kasus yang terjadi terkait materi pelajaran untuk menggali pengetahuan awal siswa</li> <li>- <i>Engineering</i> - Memberikan fenomena masalah yang dihadapi, menentukan tantangan desain rekayasa (kondisi, tantangan, kriteria, batasan, dan sumber daya)</li> </ul>   |
| 2. <i>Engage</i>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Sains</i> (metode ilmiah) - Berdiskusi untuk merumuskan pertanyaan - Membuat jawaban sebagai hipotesis awal</li> <li>- <i>Technology</i> - Menggunakan media demonstrasi, video atau gambar</li> <li>- <i>Engineering</i> - Identifikasi masalah produk</li> </ul>   |
| 3. <i>Explore</i>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Sains</i> (metode ilmiah) Melakukan percobaan, pengamatan dan mencatat hasil percobaan.</li> <li>- <i>Mathematic</i>: Membaca skala pada alat percobaan</li> <li>- <i>Engineering</i> - Mengumpulkan informasi dan mencari solusi, memilih solusi terbaik yang akan dikembangkan menjadi prototipe, mendeskripsikan desain prototipe, dan menuliskan alat dan bahan produk yang akan dibuat</li> </ul> |
| 4. <i>Explain</i>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Sains</i> (metode ilmiah): Menganalisis hasil percobaan dan menarik kesimpulan apakah hipotesis sesuai. Menyampaikan hasil dengan mempresentasikan</li> <li>- <i>Engineering</i>: Mengumpulkan informasi dan mencari solusi, memilih solusi terbaik yang akan dikembangkan menjadi prototipe, menggambarkan desain prototipe, dan menuliskan alat dan bahan produk yang akan dibuat</li> </ul>         |
| 5. <i>Elaboration</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Sains</i>: Menyampaikan (mengkomunikasikan) kesimpulan tentang materi yang sedang dipelajari</li> <li>- <i>Engineering</i>: Membuat produk (menuliskan langkah-langkahnya)</li> </ul>  |
| 6. <i>Evaluation</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Engineering</i> - Menguji produk kemudian membuat poster</li> </ul>  |
| 7. <i>Extend</i>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Mathematic</i>: Penerapan rumus Sains - Mengumpulkan informasi Teknologi - Menggunakan media internet atau buku cetak</li> </ul>   |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <i>Syntax of 7E</i>           | Aspek STEM dalam pembelajaran siklus belajar 7E |
| untuk menjawab                |   |
| (Azizah <i>et al.</i> , 2020) |   |

Pendekatan STEAM dan model siklus belajar 7E merupakan kombinasi yang saling melengkapi dalam menciptakan pembelajaran transdisipliner, kontekstual, dan berorientasi pada kompetensi abad ke-21. Sintaks LC 7E dimanfaatkan sebagai kerangka konseptual dalam merancang alur kegiatan pembelajaran, agar dengan kaidah penulisan modul ajar. Dengan demikian, implementasi *e*-modul berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* merupakan strategi efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan kolaboratif, dan jiwa kewirausahaan siswa dalam pembelajaran fisika yang bermakna dan aplikatif.

### 2.7. *Deep Learning*

*Deep learning* mulai menjadi perhatian utama dalam dunia pendidikan di Indonesia pada saat ini. Dengan tiga prinsip dasar *mindful*, *meaningful* dan *joyful*. Kurikulum dengan prinsip *deep learning* di Indonesia harus dirancang untuk memenuhi tuntutan perkembangan teknologi global dan memastikan bahwa siswa di Indonesia dapat bersaing dalam dunia kerja yang semakin berbasis pada kecerdasan buatan (M. Wijaya, 2025). Urgensi *Deep Learning* semakin meningkat dengan tuntutan pembelajaran abad 21 seperti berpikir kritis, kolaborasi, kreativitas, dan literasi digital (Fatmawati, 2025). Prinsip *Deep Learning* yang mengedepankan berkesadaran (*mindful*), bermakna (*meaningful*), dan menggembirakan (*joyful*) sejalan dengan implementasi Kurikulum Merdeka yang menekankan pada pembelajaran berpusat pada siswa (*student center*) dan pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) (Gunawan *et al.*, 2023).

*Meaningful Learning* menjadi prinsip dasar penting dalam pendekatan *deep learning* karena menekankan peran aktif siswa selama proses pembelajaran. Melalui keterlibatan tersebut, siswa dapat menghubungkan konsep dengan berbagai situasi nyata sehingga pemahamannya menjadi lebih mendalam dan berkelanjutan (Fitriani & Santiani, 2025). *Mindful Learning* berkontribusi dengan

menumbuhkan kesadaran metakognitif dalam diri siswa. Kemampuan ini menjadikan siswa lebih reflektif, mampu memusatkan perhatian, dan lebih terarah dalam mengelola pengalamannya (Diputera, 2024). *Joyful Learning* menghadirkan lingkungan belajar yang menyenangkan dan kondusif. Pemenuhan aspek emosional dan psikologis dalam pembelajaran membantu meningkatkan motivasi, menciptakan rasa nyaman, serta mempermudah siswa dalam memahami, mengingat, dan menerapkan materi yang dipelajari (Wijaya *et al.*, 2025).

Prinsip *deep learning*, *meaningful*, *mindful*, dan *joyful* diintegrasikan secara sistematis dalam *e-modul* energi terbarukan berbasis STEAM yang dikembangkan. *Meaningful learning* diwujudkan melalui penyajian konsep dan masalah energi terbarukan yang kontekstual, *mindful learning* melalui aktivitas reflektif dan analisis proses berpikir, serta *joyful learning* melalui proyek inovatif seperti pembuatan prototipe biobaterai. Integrasi ketiga prinsip ini secara langsung memperkuat pengembangan keterampilan abad ke-21, khususnya *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skills*. Pemanfaatan fitur digital seperti video, animasi, dan simulasi membuat *e-modul* lebih interaktif dan adaptif terhadap kebutuhan belajar siswa.

## **2.8. Collaborative Problem Solving**

Kemajuan abad ke-21 telah membawa perubahan signifikan di banyak sektor, termasuk pendidikan, dimana keterampilan abad ke-21, khususnya keterampilan memecahkan masalah dan keterampilan kolaborasi, semakin diakui sebagai hal yang penting (Firdaus & Robandi, 2023). Keterampilan yang penting di era modern ini satu diantaranya adalah keterampilan memecahkan masalah. Khususnya dalam pembelajaran fisika. Pendidikan fisika yang dikenal dengan kompleksitas konsep dan praktiknya memerlukan pendekatan pembelajaran yang dapat meningkatkan keterampilan tersebut agar relevan dengan tantangan masa kini (Kasse & Atmojo, 2022). Siswa memerlukan banyak kesempatan untuk memecahkan masalah fisika, khususnya di dunia nyata, untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah mereka (Davita & Pujiastuti, 2020). Sehingga

untuk mengembangkan keterampilan tersebut guru dapat mengalihkan kegiatan belajar dari *teacher centered* menjadi *student centered* guna meningkatkan kemampuan tersebut. Hal ini sejalan dengan persyaratan kurikulum yang merekomendasikan guru menerapkan model pembelajaran *student centered* di kelas (Fajri *et al.*, 2020).

Penilaian kompetensi CPS dalam kerangka PISA 2015 dimaknai sebagai kemampuan individu untuk secara aktif berpartisipasi dalam proses pemecahan masalah yang melibatkan dua atau lebih agen, dengan cara berbagi pemahaman dan usaha yang dibutuhkan guna mencapai solusi. Proses ini menekankan pada integrasi pengetahuan, keterampilan, dan kontribusi setiap pihak untuk menyelesaikan masalah secara bersama-sama. Fokus penilaiannya tidak terletak pada kelompok secara keseluruhan, melainkan pada individu dalam konteks kolaboratif tersebut. Artinya, yang dianalisis adalah sejauh mana individu menggunakan kemampuan yang relevan dalam bekerja sama menyelesaikan masalah dengan anggota kelompok lainnya (Miksan, 2021).

Penilaian ini mencakup kemampuan seseorang dalam berinteraksi secara efektif dengan agen-agen yang terlibat baik itu manusia maupun perangkat dalam mencapai pemahaman bersama, melaksanakan aktivitas secara kolaboratif, dan mengoptimalkan sumber daya kelompok secara tepat guna mencapai tujuan pemecahan masalah. Anggota kelompok sebaiknya memiliki kecakapan dalam mencapai tujuan kolaboratif, menjalankan tugas dengan baik, menyampaikan informasi secara efektif, serta mampu menyesuaikan diri dan belajar dari lingkungan sekitarnya (Franklin & Graesser, 1997) (Franklin *et al.*, 2015).

Sejalan dengan itu, kompetensi CPS dipahami sebagai perpaduan antara dua kemampuan utama, yakni pemecahan masalah secara individual dan keterampilan berkolaborasi. Dalam kerangka ini, terdapat tiga kompetensi utama terkait pemecahan masalah individual dan empat kompetensi inti dalam kolaborasi. Integrasi dari ketujuh aspek tersebut menghasilkan dua belas kompetensi khusus dalam CPS, sebagaimana tertuang dalam matriks yang dirilis oleh *OECD*

*Programme for International Student Assessment (PISA) 2015 (OECD, 2017).*

Tabel 2. *Matrix of Collaborative Problem Solving Skills for PISA 2015*

|   | <i>(1) Establishing and maintaining shared understanding</i>  | <i>(2) Taking appropriate action to solve the problem</i>  | <i>(3) Establishing and maintaining team organisation</i>  |
|---|---|--|--|
| <i>(A) Exploring and understanding</i>  | <i>(A1) Discovering perspectives and abilities of team members</i>                                      | <i>(A2) Discovering the type of collaborative interaction to solve the problem, along with goals</i> | <i>(A3) Understanding roles to solve the problem</i>   |
| <i>(B) Representing and formulating</i> | <i>(B1) Building a shared representation and negotiating the meaning of the problem (common ground)</i> | <i>(B2) Identifying and describing tasks to be completed</i>   | <i>(B3) Describing roles and team organisation (communication protocol/rules of engagement)</i>        |
| <i>(C) Planning and executing</i>       | <i>(C1) Communicating with team members about the actions to be/ being performed</i>                    | <i>(C2) Enacting plans</i>   | <i>(C3) Following rules of engagement (e.g., prompting other team members to perform their tasks.)</i> |
| <i>(D) Monitoring and reflecting</i>    | <i>(D1) Monitoring and repairing the shared understanding</i>   | <i>(D2) Monitoring results of actions and evaluating success in solving the problem</i>              | <i>(D3) Monitoring, providing feedback and adapting the team organisation and roles</i>                |

(OECD, 2017).

Penerapan CPS dalam pembelajaran fisika merupakan strategi yang efektif untuk mengembangkan kemampuan siswa dalam berpikir kritis, bekerja sama, dan menyelesaikan masalah kompleks secara sistematis. CPS mencakup komponen

seperti eksplorasi, representasi, perencanaan, refleksi, serta keterampilan kerja tim dan komunikasi yang sangat relevan dengan tantangan pembelajaran abad ke-21. Oleh karena itu, integrasi CPS dalam desain *e*-modul ini merupakan langkah strategis dalam meningkatkan kualitas pembelajaran dan kesiapan siswa menghadapi tantangan global.

### **2.9. Entrepreneurial Skills**

Kewirausahaan dianggap sebagai elemen penting untuk pembangunan ekonomi yang dapat dipromosikan dan dikembangkan melalui pendidikan. Pendidikan kewirausahaan berpengaruh dalam meningkatkan intensi berwirausaha seseorang. Melalui pendidikan kewirausahaan, individu dapat memperoleh pengetahuan tentang berbagai aspek dalam menjalankan bisnis, mencakup penjualan, finansial, manajemen, serta strategi bisnis. Pendidikan kewirausahaan juga dapat membantu individu mengembangkan keterampilan kewirausahaan, seperti kemampuan berpikir kreatif, inovatif, dan berorientasi pada peluang (Falah & Marlina, 2022). Dengan pengetahuan dan keterampilan ini, individu akan lebih siap dan termotivasi untuk memulai usaha mereka sendiri. Lima aspek yang mewakili aspek komprehensif keterampilan kewirausahaan: *leadership, reflective communication, risktaking, creatively innovative, future orientation* (Susantiningrum *et al.*, 2023).

Selaras dengan karakteristik *e*-modul dalam penelitian pengembangan ini, kegiatan proyek, analisis peluang pemanfaatan energi terbarukan, serta pengembangan produk sederhana seperti biobaterai, relevan dengan integrasi unsur kewirausahaan. *E*-modul yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya berfokus pada pemahaman konsep fisika, tetapi juga menstimulasi kemampuan berpikir kreatif, inovatif, serta keberanian mengambil risiko dalam memecahkan masalah nyata. Aktivitas kolaboratif dalam *e*-modul mendorong *leadership* dan komunikasi reflektif, sedangkan penekanan pada solusi energi masa depan mendukung terbentuknya *future orientation*. Dengan demikian, *e*-

modul ini berperan sebagai bahan pembelajaran yang efektif untuk mengembangkan entrepreneurial skills siswa secara komprehensif selaras dengan kebutuhan keterampilan abad ke-21.

### **2.10. Energi terbarukan**

Dunia saat ini menghadapi tantangan menipisnya sumber energi fosil, sehingga diperlukan inovasi dalam pengembangan energi terbarukan (Eshiemogie *et al.*, 2022). Keterbatasan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik mendorong perlunya pengembangan energi terbarukan yang berasal dari bahan-bahan yang belum banyak dimanfaatkan sebelumnya (Amheka & Tuati, 2018). Penelitian pada energi terbarukan fokus pada pemanfaatan sumber daya alam yang ramah lingkungan, aman, mudah diperoleh, dan dapat diperbaharui secara berkelanjutan (Sriyanti *et al.*, 2016). Selain itu, pemanfaatan sumber daya lokal dalam pembelajaran energi terbarukan dapat meningkatkan relevansi dan konteks praktis bagi siswa (Lestari, 2023).

Energi terbarukan tidak hanya menjawab kebutuhan energi yang berkelanjutan tetapi juga menjadi bagian penting dalam pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) (Puspita, 2021). Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah menginisiasi berbagai kebijakan yang mendukung pemanfaatan energi terbarukan melalui pengintegrasian konsep energi terbarukan ke dalam dunia pendidikan (Gumelar *et al.*, 2019). Pendidikan energi terbarukan dipandang sebagai langkah awal yang strategis untuk membangun generasi yang lebih peduli terhadap ketahanan energi dan lingkungan di masa depan (Delima *et al.*, 2023).

Pembelajaran energi terbarukan yang sesuai dengan Kurikulum Merdeka idealnya menggunakan bahan ajar yang menstimulus pembelajaran berbasis proyek, sehingga siswa dapat mengamati implementasi energi terbarukan secara langsung dalam kehidupan sehari-hari (Fadhilah *et al.*, 2025). Sumber berbasis proyek berasal dari elemen-elemen alam yang melimpah di bumi, seperti cahaya

matahari, angin, aliran sungai, tumbuhan, dan limbah pertanian (Silitonga & Husin, 2020).

Dari berbagai bentuk energi terbarukan, biobaterai merupakan menjadi salah satu solusi inovatif untuk menstimulus siswa tentang pentingnya kebutuhan energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Lestari, 2023). Biobaterai memiliki keunggulan yaitu berasal dari bahan organik yang ramah lingkungan dan tidak mengandung bahan kimia berbahaya lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan baterai sel kering karena tidak mengandung logam berat seperti merkuri, timbal, kadmium dan nikel (Lestari, 2023). Dalam penelitian ini memanfaatkan limbah onggok singkong sebagai bahan baku pembuatan pasta biobaterai.

Singkong merupakan komoditas pertanian yang memiliki jumlah produksi yang tinggi di kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung dengan nilai produksi mencapai 6,6 juta ton dengan pertumbuhan produksi per tahun sebesar 22,61% (BPS, 2017). Umbi singkong biasanya diolah oleh industri tapioka untuk diambil patinya untuk dijadikan sebagai tapioka, sehingga dari kegiatan tersebut menghasilkan limbah padat sebesar 75% (Yohanista, Sofjan, & Widodo, 2014) berupa ampas yang biasa disebut onggok. Onggok yang dihasilkan memiliki kandungan yang sangat banyak yang masih bisa dimanfaatkan, salah satunya kandungan karbohidrat sebesar 76% (Yulistiani *et al.*, 2019). Karbohidrat pada onggok singkong dapat difermentasi sehingga menghasilkan asam asetat yang memiliki potensi sebagai elektrolit pada baterai (Fadhallah *et al.*, 2022).

### 2.11. Penelitian Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan diteliti adalah terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Penelitian Relevan

| Nama Peneliti               | Nama Jurnal        | Judul Artikel                                     | Hasil Penelitian  |
|-----------------------------|--------------------|---|---|
| Suryani & Saparuddin (2022) | Jurnal Biogenerasi | Efektivitas Penggunaan E-Modul Dalam Meningkatkan | pembelajaran berbasis masalah yang tertuang pada e-modul yang |

| Nama Peneliti   | Nama Jurnal                         | Judul Artikel   | Hasil Penelitian  |
|---|-------------------------------------|---|---|
|   |                                     | Kemampuan<br><i>Collaborative</i><br>Peserta Didik<br>Pada Materi<br>Klasifikasi<br>Makhluk Hidup<br>Kelas 10 Sman 9<br>Makassar  | dikembangkan<br>efektif<br>meningkatkan<br>keterampilan<br><i>collaborative</i><br>siswa  |
| Siti Rofikoh,<br>Supeno<br>& Mohammad<br>Imam Farisi<br>(2024)                                  | Jurnal Pendidikan<br>MIPA           | Pengembangan E-<br>Modul Berbasis<br>STEM untuk<br>Meningkatkan<br>Keterampilan<br>Berpikir Kreatif<br>Peserta Didik<br>dalam<br>Pembelajaran IPA<br>di Sekolah Dasar                               | produk e-modul<br>berbasis STEM<br>yang<br>dikembangkan<br>oleh penelitian itu<br>dengan  |
| Tamimiya,<br>Khatriya Tiffani<br>Gani, Agus Abdul<br>Pramudya, & Dwi<br>Aristya Putra<br>(2017) | Jurnal<br>Pembelajaran<br>Fisika    | Pengembangan e-<br>Modul<br>Pembelajaran Ipa<br>Berbasis SETS<br>Untuk<br>Meningkatkan<br><i>Collaborative</i><br><i>Problem Solving</i><br><i>Skills</i> Siswa Smp<br>Pada Pokok<br>Bahasan Cahaya | Keterampilan<br><i>Collaborative</i><br><i>Problem Solving</i><br><i>Skills</i> meningkat<br>dengan<br>implementasi<br>pengembangan e-<br>modul                                     |
| Puspita,<br>(2022)  | Jurnal<br>Inovasi<br>Pendidikan IPA | Penguatan<br>Pemahaman<br>Materi<br>Gelombang<br>Dan Bunyi<br>Berbantuan<br>Media<br>Ebook <i>Berbasis</i><br><i>Collaborative</i><br><i>Problem Solving</i><br>(Cps) Dan<br>Laboratorium           | Pemahaman dan<br>peningkatan<br>kemampuan<br>penyelesaian<br>masalah<br>Gelombang dan<br>bunyi<br>Berbasis<br><i>Collaborative</i><br><i>Problem Solving</i><br>(CPS)<br>meningkat. |

| Nama Peneliti | Nama Jurnal | Judul Artikel                             | Hasil Penelitian |
|---------------|-------------|---|------------------|
|               |             | Virtual Dalam Pembelajaran Era Metaverse. |                  |

Beberapa studi memang menunjukkan efektivitas model pembelajaran STEAM maupun Learning Cycle 7E, serta pemanfaatan media digital dalam meningkatkan kualitas pembelajaran. Namun demikian, hasil telaah literatur juga memperlihatkan adanya sejumlah celah yang belum terjawab secara komprehensif.

Sebagian besar pengembangan *e*-modul masih berfokus pada model pembelajaran STEAM atau Learning Cycle 7E secara terpisah, tanpa mengintegrasikan prinsip *Deep Learning* secara langsung dalam media pembelajaran digital untuk materi energi terbarukan maupun aspek kewirausahaan. Penggunaan teknologi digital dalam mendukung peningkatan keterampilan kewirausahaan serta kolaborasi siswa masih terbatas, khususnya pada pengembangan *e*-modul energi terbarukan. Meskipun terdapat studi yang meneliti keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kolaboratif, masih sangat sedikit penelitian yang secara eksplisit mengkaji pengaruh pengembangan *e*-modul berbasis STEAM yang diperkaya prinsip *Deep Learning* terhadap keterampilan *Collaborative Problem Solving* (CPS) dan *Entrepreneurship Skills* siswa dalam konteks pembelajaran energi terbarukan.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan pada beberapa aspek. Pengembangan *e*-modul interaktif berbasis STEAM yang secara langsung mengintegrasikan prinsip *Deep Learning* pada pembelajaran energi terbarukan, sehingga berbeda dengan penelitian terdahulu yang hanya mengadopsi STEAM atau 7E tanpa integrasi mendalam dengan *deep learning*. Fokus penelitian diarahkan tidak hanya pada keterampilan akademik seperti pemecahan masalah, tetapi juga secara spesifik menekankan penguatan keterampilan kewirausahaan

dan kolaboratif siswa melalui pendekatan berbasis teknologi. Pendekatan yang diusulkan bersifat integratif dan holistik karena menggabungkan STEAM, *deep learning*, serta konteks energi terbarukan untuk membekali siswa dengan keterampilan abad ke-21 yang relevan menghadapi era industri 4.0 dan revolusi digital.

### 2.11 Kerangka berpikir

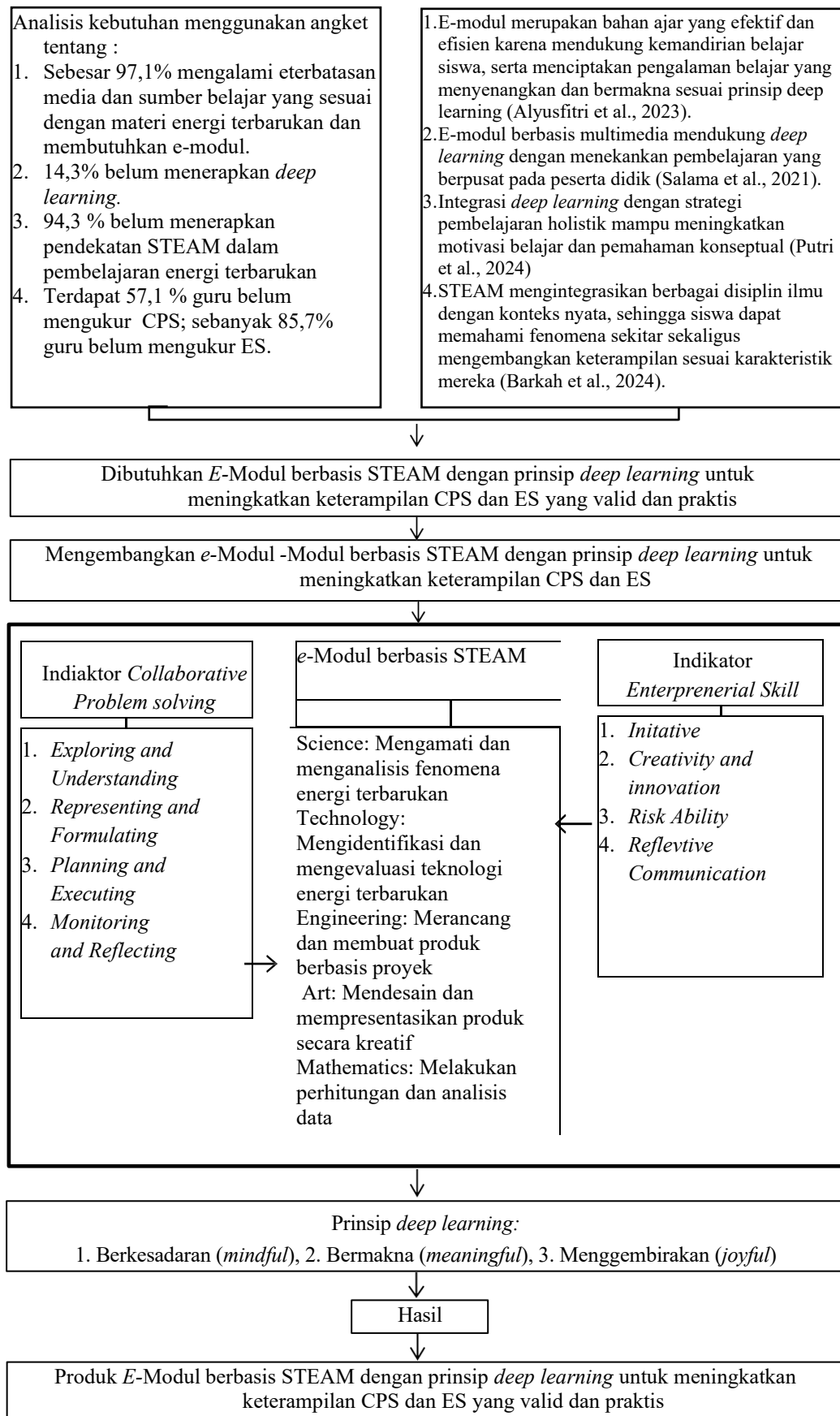
Pembelajaran fisika di sekolah masih didominasi oleh pendekatan konvensional yang bersifat teoritis dan minim konteks kehidupan nyata. Hal ini menyebabkan rendahnya keterlibatan aktif siswa dalam pembelajaran serta belum berkembangnya keterampilan abad ke-21, khususnya keterampilan pemecahan masalah kolaboratif (*Collaborative Problem Solving*) dan keterampilan kewirausahaan (*Entrepreneurial Skills*). Oleh karena itu, diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu mengintegrasikan pemahaman konseptual dengan keterampilan praktis dan sosial.

STEAM (*Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics*) diyakini dapat mengatasi permasalahan tersebut. Pendekatan ini memberikan ruang bagi siswa untuk mengeksplorasi permasalahan, menemukan solusi kreatif, dan berkolaborasi dalam tim. Ketika diterapkan dalam konteks energi terbarukan, pembelajaran menjadi lebih kontekstual, aplikatif, dan bermakna.

Melalui pengembangan *e-modul* berbasis STEAM dan prinsip *Deep Learning*, siswa tidak hanya memahami konsep energi terbarukan, tetapi juga dilatih untuk berpikir kritis, kreatif, dan mampu bekerja sama serta berwirausaha.

Model pengembangan yang digunakan adalah *Design and Development Research* (DDR) yang dikemukakan oleh Richey dan Klein (2009). Model ini terdiri dari tiga tahap utama, yaitu: (1) *Analysis* — analisis kebutuhan dan studi literatur; (2) *Design and Development* — perancangan dan pengembangan *e-modul* berdasarkan kebutuhan dan teori yang relevan; (3) *Evaluation* — evaluasi formatif untuk menilai validitas, kepraktisan, dan efektivitas *e-modul* yang dikembangkan.

Melalui proses ini, diharapkan dapat dihasilkan *e*-modul energi terbarukan berbasis STEAM dan prinsip *Deep Learning* yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan *Collaborative Problem Solving* dan *Entrepreneurial Skills* siswa SMA.

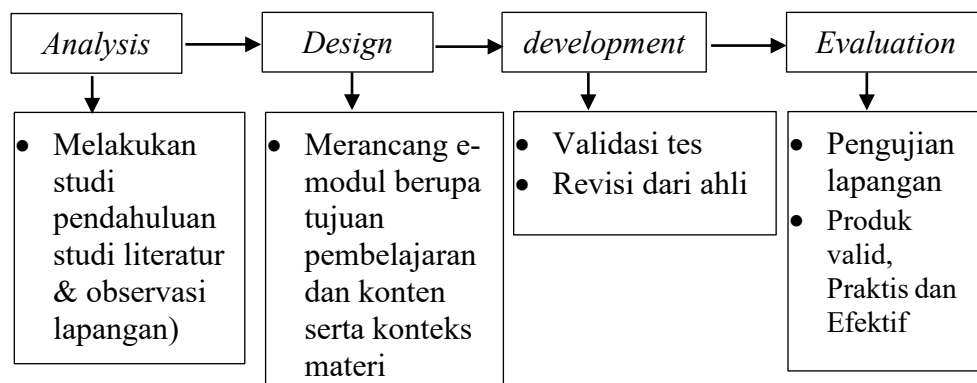


Gambar 1. Bagan Kerangka Pemikiran

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Desain Penelitian Pengembangan

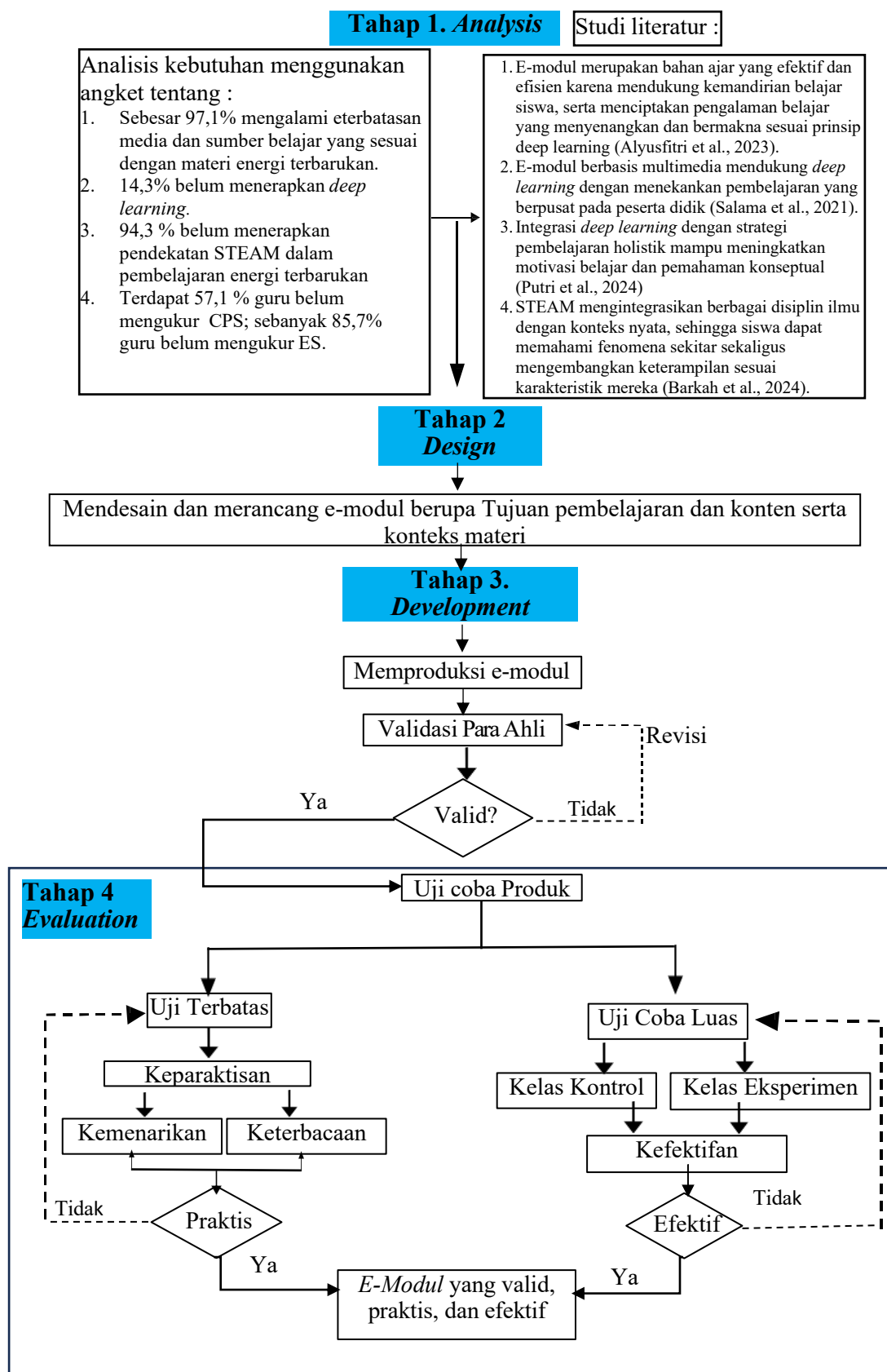
Desain penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Desain dan Pengembangan (*Design and Development Research (DDR)*) yang diadaptasi dari Richey & Klien (2007). Desain penelitian DDR dikategorikan menjadi 2 tipe proyek penelitian, yaitu (1) penelitian mengenai produk dan alat; (2) penelitian mengenai desain dan model pengembangan (Richey & Klein, 2014). Pada penelitian ini, digunakan desain penelitian DDR tipe pertama, yakni penelitian dan pengembangan produk dan alat. Jenis DDR tipe ini berfokus pada pengembangan produk yang melibatkan proses desain, pengembangan, dan evaluasi (Festiana *et al.*, 2020). Hasil yang dari jenis DDR tipe 1 adalah pembelajaran dari pengembangan produk tertentu dan analisis kondisi yang memfasilitasi penggunaan produk tersebut (Richey & Klein, 2007 yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Design and Development Research (DDR)* (adoption by Richey and Klein, 2007)

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini mengembangkan produk dengan metode DDR sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

### 3.2.1 Tahap 1 – *Analysis*

Tahap analisis merupakan tahap awal dalam prosedur penelitian dan pengembangan ini. Analisis dilakukan untuk memperoleh data kebutuhan yang menjadi dasar pengembangan produk. Kegiatan analisis kebutuhan dilaksanakan pada siswa kelas X SMA program IPA. Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner berbasis *Google Form* yang diisi oleh responden berdasarkan kesediaan partisipasi. Data hasil kuesioner dianalisis secara deskriptif dalam bentuk persentase dan selanjutnya diinterpretasikan secara kualitatif untuk menggambarkan kondisi kebutuhan pembelajaran. Selain itu, dilakukan studi literatur melalui kajian artikel ilmiah yang relevan dengan pengembangan *e-modul* berbasis STEAM dan prinsip *Deep Learning* dalam meningkatkan keterampilan *Collaborative Problem Solving* dan *Entrepreneurial Skills* peserta didik. Hasil analisis kebutuhan dan kajian literatur ini digunakan sebagai landasan dalam perancangan dan pengembangan *e-modul* yang sesuai dengan konteks dan kebutuhan pembelajaran.

### 3.2.2 Tahap 2 – *Design*

Tahap design merupakan tahapan perancangan *e-modul*. Hasil dari tahap analisis selanjutnya diolah untuk membuat perancangan *e-modul*. Pada tahap ini, dibuat rancangan *e-modul* berupa tujuan pembelajaran dan konten serta konteks materi kimia yang akan diberikan. Tujuan pembelajaran dirumuskan berdasarkan analisis kurikulum (Kurikulum Merdeka), perumusan tujuan pembelajaran yang mencakup hasil analisis capaian pembelajaran (CP) fase E pada Kurikulum Merdeka.

### 3.2.3 Tahap 3 – *Development*

Tahap ini merupakan tahapan pembuatan produk *e-modul* berdasarkan rancangan yang telah dibuat pada tahap design. Melalui tahap ini, *e-modul* disusun berdasarkan tujuan pembelajaran, konteks dan konten materi fisika yang telah dirumuskan dari tahap sebelumnya. Pengembangan *e-modul* dilakukan dengan hasil telaah berbagai literatur konteks dan konten materi fisika pada artikel-artikel

jurnal terkait dan buku-buku teks fisika.

Dari hasil telaah literatur untuk penentuan konteks dan konten materi fisika, dilakukan penggabungan teks asli konten dan konten dengan melakukan penghalusan teks untuk membuat teks dasar. Teks dasar yang telah diperoleh kemudian dilengkapi dengan gambar, animasi, bagan, tabel, dan video yang mendukung. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan soal-soal tes untuk mengukur keterpahaman peserta didik akan konteks dan konten fisika yang disajikan. Selain itu, dibuat juga soal-soal untuk mengukur CPS dan ES peserta didik. Setelah diperoleh teks dasar dan soal-soal, disusun produk *e-modul*.

Selain itu, pada tahap ini juga dilakukan penyusunan instrumen penelitian yang meliputi instrumen validasi ahli, instrumen kepraktisan untuk peserta didik, serta instrumen tes hasil belajar. Setelah dilakukan pengembangan *e-modul* langkah selanjutnya adalah validasi oleh validator ahli. Validasi *e-modul* dilakukan oleh 2 orang dosen ahli dan 2 orang guru fisika. Hasil saran dan masukan dari validator digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi sehingga diperoleh *e-modul* yang layak digunakan pada tahap selanjutnya.

#### 3.2.4 Tahap 4 – *Evaluation*

Setelah hasil validitas dinyatakan valid kemudian pengembangan *e-modul* dilanjutkan ke diuji terbatas pada kelompok kecil yaitu pada peserta didik yang sudah pernah mempelajari materi energi alternatif yaitu di kelas XI. Peserta didik juga diminta memberikan tanggapan terhadap aspek kemenarikan dengan mengisi angket respon peserta didik yang disediakan.

Uji coba dilakukan di SMA Negeri Banjar Agung, pada tahap ini diberikan soal untuk mengetahui reliabelitas dari soal yang akan diberikan pada uji coba luas. Jika hasil produk *e-modul* praktis dan soal untuk mengukur *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skills* reliabel maka diteruskan ke uji luas pada kelas eksperimen dengan menggunakan *e-modul* sedangkan kelas kontrol menggunakan lembar diskusi kelompok. Tahap ini juga dilakukan pengumpulan data penelitian melalui pelaksanaan *pretest* dan *posttest*.

Evaluasi pada penelitian ini dilakukan secara formatif dan sumatif. Evaluasi formatif dilaksanakan pada setiap tahapan pengembangan melalui kegiatan validasi ahli, uji kelompok kecil, serta revisi pengembangan modul ajar berdasarkan masukan yang diperoleh dari validator sehingga produk yang dihasilkan memenuhi kriteria kelayakan dan kepraktisan. Evaluasi sumatif dilakukan setelah tahap implementasi untuk mengetahui efektivitas Pengembangan *e-modul* dalam mencapai tujuan pembelajaran yang diukur melalui hasil belajar peserta didik serta peningkatan keterampilan *collaborative problem solving* dan *enterpreneurial skills*. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar untuk menarik kesimpulan mengenai kualitas akhir produk yang dikembangkan.

### **3.3 Instrumen Pengumpulan Data**

Instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian pengembangan ini, yaitu angket analisis kebutuhan, Validasi Ahli, dan instrumen *pretest* dan *posttest*.

#### **3.3.1 Angket Analisis Kebutuhan**

Angket analisis kebutuhan diisi oleh guru dan peserta didik untuk melihat potensi dan masalah yang terjadi dalam pembelajaran. Angket analisis kebutuhan berisi daftar pertanyaan yang ditujukan kepada guru dan peserta didik mengenai kegiatan pembelajaran fisika.

#### **3.3.2 Skala Penilaian**

Skala penilaian dalam penelitian ini mencakup skala validasi, skala uji kemenarikan, dan keterbacaan. Skala validasi diisi oleh 4 validator ahli, pengisian skala ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelayakan produk sehingga dapat digunakan guru sebagai bahan ajar. Penskoran pada skala validasi ini menggunakan skala Likert yang diadaptasi dari (Laurens & Ratumanan, 2011) yang terdapat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Skala Likert pada Skala Validasi

| Pilihan Jawaban | Skor |
|-----------------|------|
| Sangat valid    | 4    |
| Valid           | 3    |
| Kurang valid    | 2    |
| Tidak valid     | 1    |

Sumber: Laurens &amp; Ratumanan, 2011

Skala uji kemenarikan dan keterbacaan diisi oleh siswa yang telah mengikuti pembelajaran menggunakan *e-modul* yang dikembangkan. Tujuan dari pengisian skala ini adalah untuk menilai tingkat kepraktisan produk yang dikembangkan, berdasarkan pengalaman langsung siswa dalam proses pembelajaran. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert yang telah disesuaikan dari Ratumanan & Laurent (2011:131), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Skala Likert pada Skala Keterbacaan dan Kemenarikan

| Pilihan Jawaban | Skor |
|-----------------|------|
| Sangat nampak   | 4    |
| Nampak          | 3    |
| Kurang nampak   | 2    |
| Tidak nampak    | 1    |

Sumber: Laurens &amp; Ratumanan, 2011

### 3.3.3 Instrumen *Pretest* dan *Posttest*

Instrumen *pre-posttest* yang dibuat, yaitu instrumen tes berbentuk soal untuk menilai *Collaborative Problem Solving* dan *Entrepreneurial Skill* peserta didik pada topik energi terbarukan, Tes ini diberikan kepada peserta didik baik di kelas eksperimen maupun kelas kontrol, sebelum dan sesudah pelaksanaan pembelajaran, guna mengetahui peningkatan kemampuan setelah mengikuti intervensi pembelajaran.

### 3.4 Teknik Analisis Data

#### 3.4.1 Data Validitas

Data validitas diperoleh dari skala validasi isi serta validasi media dan desain yang diisi oleh validator, kemudian dianalisis menggunakan analisis persentase (Sudjana, 2005).

$$\%X = \frac{\sum \text{Skor yang diperoleh}}{\sum \text{Skor maksimum}} \times 100\%$$

Hasil presentase yang diperoleh dikonversikan dengan kriteria seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Konversi Skor Penilaian Kevalidan Produk

| Persentase | Kriteria                          |
|------------|-----------------------------------|
| 81% - 100% | Sangat Valid/ Tidak perlu revisi  |
| 63% - 80%  | Valid/ Tidak perlu revisi         |
| 44% - 62%  | Kurang Valid/ Perlu revisi        |
| 25% - 43%  | Tidak Valid / Perlu revisi        |
| <25%       | Sangat Tidak Valid / Perlu revisi |

Berdasarkan Tabel 6, peneliti memberi batasan bahwa produk yang dikembangkan terkategori valid jika mencapai skor yang peneliti tentukan, yaitu minimal 64% dengan kriteria validitas sedang.

#### 3.4.2 Data Kepraktisan

Data kepraktisan diperoleh dari pengisian lembar observasi pengisian skala kemenarikan dan keterbacaan yang diisi oleh peserta didik, kemudian dianalisis menggunakan analisis persentase (Sudjana, 2005).

$$\%X = \frac{\sum \text{Skor yang diperoleh}}{\sum \text{Skor maksimum}} \times 100\%$$

Hasil presentase yang diperoleh dikonversi dengan kriteria seperti pada Tabel 7.

Tabel 6. Konversi Skor Penilaian Kepraktisan Produk

| Persentase | Kriteria                         |
|------------|----------------------------------|
| 81% - 100% | Sangat Valid/ Tidak perlu revisi |
| 63% - 80%  | Valid/ Tidak perlu revisi        |
| 44% - 62%  | Kurang Valid/ Perlu revisi       |

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| 25% – 43% | Tidak Valid / Perlu revisi        |
| <25%      | Sangat Tidak Valid / Perlu revisi |

Berdasarkan Tabel 7, peneliti memberi batasan bahwa produk yang dikembangkan terkategori valid jika mencapai skor yang peneliti tentukan, yaitu minimal 64% dengan kriteria validitas sedang.

### 3.4.3 Data Validitas dan Reliabilitas

Data validitas dan reliabilitas instrumen pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan SPSS.

a. Validitas instrumen merujuk pada sejauh mana interpretasi terhadap skor tes dapat dianggap benar atau dapat dipercaya (Rosidin, 2017). Untuk menilai validitas konstruk, dilakukan perbandingan antara nilai output  $r_{xy}$  dan nilai  $r_{tabel}$  pada tingkat signifikansi 5%, setelah terlebih dahulu menentukan derajat kebebasan ( $df$ ), yaitu dengan rumus  $N - 2$ . kategori validitas lapangan berdasarkan perbandingan output  $r_{xy}$  dengan  $r_{tabel}$  dapat dilihat pada Tabel 8. Sementara itu, kriteria dari koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 7. Kriteria Kevalidan Instrumen Tes

| Ketentuan Nilai $r_{tabel}$ | Kategori    |
|-----------------------------|-------------|
| $r_{xy} \geq r_{tabel}$     | Valid       |
| $r_{xy} < r_{tabel}$        | Tidak Valid |

Tabel 8. Kriteria Koefisien Korelasi

| Ketentuan Nilai $r_{tabel}$ | Kategori      |
|-----------------------------|---------------|
| $0,800 < r_{xy} \leq 1,00$  | 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 |

### b. Reliabilitas Instrumen

Pengujian reliabilitas bertujuan untuk mengetahui tingkat konsistensi atau keandalan suatu tes. Sebuah tes dikatakan memiliki reliabilitas yang tinggi apabila mampu menghasilkan skor yang stabil dalam kondisi yang serupa (Arikunto, 2011). Dalam penelitian ini, tes hanya diuji satu kali, dan reliabilitasnya dianalisis menggunakan bantuan SPSS.

Hasil analisis tersebut kemudian dikategorikan berdasarkan nilai koefisien korelasi reliabilitas yang ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 9. Kriteria Koefisien Korelasi

| Ketentuan Nilai $r_{tabel}$ | Kategori      |
|-----------------------------|---------------|
| $0,800 < r_{xy} \leq 1,00$  | 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 |

#### 3.4.4 Data Efektivitas

Data efektivitas diperoleh dari hasil skor *pretest* dan *posttest* yang diberikan kepada peserta didik di dua kelompok, yaitu kelas eksperimen yang menggunakan *e-modul* berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* dan kelas kontrol yang menerapkan pembelajaran konvensional. Perbedaan perlakuan pada kedua kelas adalah untuk meninjau ketercapaian keterampilan *Collaborative Problem Solving* dan *Entrepreneurial Skill* pada peserta didik. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis dengan uji normalitas, uji beda rata-rata, N-Gain dan uji dampak ANCOVA.

##### 3.4.4.1 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.

$H_0$  : Data terdistribusi secara normal

$H_1$  : 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, 2017:12-14)

#### 3.4.4.2 Uji Beda Rata – Rata

Uji beda rata-rata dilakukan setelah sampel dinyatakan berdistribusi normal, yaitu melalui Uji *Independent Sample t-Test* dengan meninjau *Levene's Test for Equality of Variances* yang menunjukkan hasil varian pada kelas kontrol dan kelas eksperimen.

Hipotesis yang digunakan dalam homogenitas sebagai berikut.

$H_0$  : Tidak ada perbedaan varian pada kelas eksperimen dan kelas kontrol.

$H_1$  : Ada perbedaan varian pada kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Hipotesis yang digunakan dalam uji beda rata-rata sebagai berikut.

$H_0$  : Tidak terdapat perbedaan rata-rata skor *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skill* peserta didik pada kelas eksperimen dan kontrol.

$H_1$  : Terdapat perbedaan rata-rata skor *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skill* peserta didik antara 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.

(Suyatna, 2017:22-28)

#### 3.4.4.3 Uji dampak *ANCOVA* (*Analysis of Covariance*) dan *Effect Size*

Uji dampak *ANCOVA* dilakukan menggunakan *Software SPSS* untuk meninjau pengaruh perlakuan terhadap variabel dependendengan mengontrol variabel lain (Field & Miles, 2010). Uji ini dilakukan melalui analisis analisis *general linear model-univariate*.

Hipotesis yang digunakan dalam *ANCOVA*

$H_0$  : Tidak terdapat perbedaan yang signifikan rata-rata skor *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skill* peserta didik pada kelas eksperimen dan kontrol.

$H_1$  : Terdapat perbedaan yang signifikan rata-rata skor *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skill* peserta didik antar 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.

(Suyatna, 2017:22-28)

*Effect size* diperoleh dari hasil analisis ANCOVA yang ditunjukkan oleh nilai *Partial Eta Squared* ( $\eta^2$ ). Nilai ini digunakan untuk mengukur besarnya pengaruh penggunaan *e-modul* pembelajaran berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* terhadap *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skill* peserta didik. Nilai *Effect size* yang diperoleh, kemudian diinterpretasikan dengan kategori menurut Hake (1998) pada Tabel 11.

Tabel 10. 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  |

#### 3.4.4.4 N-Gain

Gain atau selisih antara skor *posttest* dan *pretest* menunjukkan peningkatan/stimulasi penguasaan konsep peserta didik setelah dilakukan pembelajaran, sedangkan *N-gain* (Normalize gain) digunakan untuk meninjau stimulasi yang terjadi terkategori tinggi, sedang, atau rendah. Adapun rumus yang digunakan untuk N-Gain menurut Hake (1998) sebagai berikut.

$$N - Gain = \frac{Skor\ posttest - skor\ pretest}{Skor\ ideal - skor\ pretest}$$

Hasil N-Gain tersebut kemudian diinterpretasikan dengan kategori pada Tabel 12.

Tabel 11. Kategori Nilai N-gain

| N-Gain      | Kategori |
|-------------|----------|
| $< 0,3$     | Rendah   |
| $0,3 - 0,7$ | Sedang   |
| $> 0,7$     | Tinggi   |

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut.

1. e-Modul energi terbarukan yang dikembangkan berbasis STEAM yang terintegrasi dengan prinsip *deep learning*. E-modul ini menyajikan permasalahan kontekstual terkait krisis energi dan potensi energi terbarukan yang mendorong peserta didik melakukan eksplorasi, analisis, dan pemecahan masalah secara kolaboratif melalui tahapan CPS. Integrasi STEAM diwujudkan melalui kegiatan mengamati fenomena (*science*), mengevaluasi teknologi (*technology*), merancang dan membuat produk berbasis proyek seperti bio-baterai (*engineering*), mendesain dan mempresentasikan hasil secara kreatif (*art*), serta melakukan perhitungan dan analisis data (*mathematics*). Selain itu, e-modul ini juga mengembangkan keterampilan kewirausahaan melalui aktivitas proyek yang menumbuhkan inisiatif, kreativitas dan inovasi, kemampuan mengambil risiko, serta komunikasi reflektif. Penerapan prinsip *deep learning* (*mindful, meaningful, dan joyful learning*) serta penggunaan media interaktif seperti video, tugas proyek, dan refleksi menjadikan pembelajaran lebih bermakna, dan menarik.
2. e-modul berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* pada materi energi terbarukan memiliki tingkat validitas yang sangat valid pada aspek isi sebesar 86%, media dan desain 86,25%, serta bahasa 87%, sehingga layak digunakan sebagai sarana pembelajaran untuk meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* dan *entrepreneurial skills* siswa secara terintegrasi.
3. Hasil uji kepraktisan dan kelayakan produk pada uji skala terbatas, rata-rata persentase kepraktisan sebesar 90,50 % berada pada kategori sangat praktis, yang menunjukkan bahwa produk mudah digunakan, mudah dipahami, serta mendukung proses pembelajaran. Pada uji skala luas, persentase kepraktisan sebesar 92,25%, yang mengindikasikan konsistensi tingkat kepraktisan

sekaligus menunjukkan bahwa produk tetap efektif ketika diterapkan pada jumlah peserta didik yang lebih besar. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa *e-modul* yang dikembangkan memiliki tingkat kepraktisan yang sangat tinggi sehingga siap digunakan sebagai dalam pembelajaran di kelas.

4. Hasil uji efektivitas menunjukkan bahwa penerapan *e-modul* energi terbarukan berbasis STEAM dengan prinsip *deep learning* secara signifikan meningkatkan keterampilan CPS dan ES peserta didik. Hasil *N-Gain* menunjukkan katagori sedang dan hasil perhitungan *effect size* pada aspek CPS katagori sedang dan ES dengan katagori kecil. Dengan demikian, *e-modul* dinyatakan efektif sebagai sarana pembelajaran dalam meningkatkan keterampilan *collaborative problem solving* serta berkontribusi terhadap pengembangan *entrepreneurial skills* peserta didik.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian, peneliti memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Bagi Pendidik

*E-modul* energi terbarukan berbasis pendekatan STEAM dan prinsip *deep learning* dalam proses pembelajaran memberikan dampak positif terhadap pengembangan kemampuan *Collaborative Problem Solving* (CPS) dan *Entrepreneurial Skills* peserta didik. *E-modul* tersebut dapat dijadikan alternatif inovasi pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual.

2. Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan memperluas cakupan penerapan *e-modul* pada materi, jenjang pendidikan, atau konteks sekolah yang berbeda guna menguji konsistensi efektivitasnya. Penggunaan jumlah sampel yang lebih besar serta rancangan penelitian yang lebih variatif juga dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan validitas dan generalisasi hasil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrianti, R. A., H, N., & Febriati, F. (2025). Pengembangan E-Modul Pembelajaran Kewirausahaan Berwawasan Teknologi Pendidikan Berbasis Project Based Learning Di Universitas Negeri Makassar. 10, 491–504. <https://doi.org/10.23969/jp.v10i04.36502>
- Ajito, T. (2024). Peran Konektivisme dalam Pembelajaran Digital. *Journal on Education*, 07(01), 6968–6976. <https://doi.org/10.31004/joe.v7i1.7379>
- Ambiyar, A., Yondri, S., Irfan, S., Putri, M. U., Zaus, M., & Islami, S. (2019). Evaluation of packet tracer application effectiveness in Computer Design Networking subject. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9, 54–59. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.1.5931>
- Analysis, M., Wijnia, L., Noordzij, G., & Arends, L. R. (2024). The Effects of Problem - Based , Project - Based , and Case - Based Learning on Students ' Motivation : In *Educational Psychology Review* (Vol. 36, Nomor 1). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09864-3>
- Anisa, N., Widiensyah, S., & Kuntari, S. (2025). *Faktor Penghambat Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif dalam Mata Pelajaran Sosiologi Kelas XI di SMAN 2 Kota Serang*. 9, 18057–18066. <https://doi.org/10.37630/jpm.v16i1.4090>
- Anjani, S., Subhi, M., & Anekasari, R. (2025). Analisis Integrasi Metode Pembelajaran Konvensional dan Modern. *Menara Ilmu : Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmiah*, 19(1), 657–664. <https://doi.org/10.31869/mi.v19i1.6837>
- Apsari, A. N., & Kustijono, R. (2017). *Development Of E-Book Using Kvisoft Flipbook Maker To Train Science Process Skill For Senior High School Students In Curriculum 2013*. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika ( JIPF )*, 285–291. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-pendidikan-fisika/article/view/21463>
- Buseyne, S., Vrijdags, A., & Raes, A. (2023). Productive Failure as a Method for Learning about Effective Collaborative Problem Solving. *International Journal of Designs for Learning*, 14(1), 46–61. <https://doi.org/10.14434/ijdl.v14i1.35221>
- Darmaji, D., Astalini, A., Kurniawan, D. A., Parasdila, H., Irdianti, I., Susbiyanto, S., Ikhlas, M. (2019). E-Module Based Problem Solving in Basic Physics

Practicum for Science Process Skills. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 15(15), pp. 4–17.  
<https://doi.org/10.3991/ijoe.v15i15.10942>

- Dewi, L., & Fauziati, E. (2021). Pembelajaran Tematik di Sekolah Dasar dalam Pandangan Teori Konstruktivisme Vygotsky. *Jurnal Papeda: Jurnal Publikasi Pendidikan Dasar*, 3(2), 163–174.  
<https://doi.org/10.36232/jurnalpendidikandasar.v3i2.1207>
- Du, X., Zhang, L., Hung, J. L., Li, H., Tang, H., & Xie, Y. (2022). Understand group interaction and cognitive state in online collaborative problem solving: leveraging brain-to-brain synchrony data. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1).  
<https://doi.org/10.1186/s41239-022-00356-4>
- Eshiemogie, S. O., Ighalo, J. O., & Banji, T. I. 2022. Knowledge, perception and awareness of renewable energy by engineering students in Nigeria: A need for the undergraduate engineering program adjustment. *Cleaner Engineering and Technology*, 6:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100388>
- Fadhallah, E. G., Nurhidayati, N., Hidayati, R., Hanifah, H., & Prakasa, D. A. (2022). Studi Literatur: Potensi Onggok Singkong dan Kulit Pisang sebagai Alternatif Elektrolit Baterai Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Pengolahan Pertanian*, 4(1), 12. <https://doi.org/10.35308/jtpp.v4i1.5677>
- Fadhilah, N., Risanti, D. D., Wahyuono, R. A., Sawitri, D., Mawarani, L. J., & Muharja, M. (2025). Penggunaan Media Peraga Berbasis Energi Terbarukan Guna Menunjang Model Pembelajaran *Student-Centered Learning* di SDN Ajung 01 Kalisat. *Sewagati, Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(1), 2666–2677. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i1.2403>
- Fajaryati, N., Nurkhamid, N., Pranoto, P. W., & Muslikhin, M. (2016). *E-Module development for the subject of measuring instruments and measurement in electronics engineering education*. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 23(2), 191-199. <https://doi.org/10.21831/jptk.v23i2.13187>
- Falah, N., & Marlina, N. (2022). Pengaruh Pendidikan Kewirausahaan dan Pengalaman Prakerin Terhadap Minat Berwirausaha Siswa SMK. *Jurnal PTK dan Pendidikan*, 8(1). <https://doi.org/10.18592/ptk.v8i1.6453>
- Festiana, I., Firman, H., Setiawan, A., & Muslim, M. (2020). Design and development of representational fluency test in physics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(2), 8–13. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/2/022034>
- Fonda, A. (2018). *The Developing Math Electronic Module With Scientific Approach Using Kvisoft Flipbook Maker Pro For Xi Grade Of Senior High School*. 7(2), 109–122. <https://doi.org/10.22460/infinity.v7i2.p109-122>

- Franklin, C., Bernhardt, J., Palan Lopez, R., Long-Middleton, E., & Davis, S. (2015). Interprofessional Teamwork and Collaboration Between Community Health Workers and Healthcare Teams: An Integrative Review. *Health Services Research and Managerial Epidemiology*, 2. <https://doi.org/10.1177/2333392815573312>
- Hartini. (2022). *The Effect Of Integrating Stempreneur 6e Project-Based Module In Enhancing Lower Secondary School Students' Entrepreneurial Thinking. In Braz Dent J.* (Vol. 33, Nomor 1). UNIVERSITI SAINS MALAYSIA.
- Hong, Y. (2021). *Examining Trajectories of Elementary Students' Computational Thinking Development Through Collaborative Problem-Solving Process in a STEM- Integrated Robotics Program.* *Journal of Educational Technology Development and Exchange* 14(1):27-42. <http://DOI:10.18785/jetde.1401.02>
- Ilahiyyah, I., Iriani, S. S., Harti, H., & Izzuddin, M. G. (2021). Implementasi Project-based Learning untuk Meningkatkan Entrepreneurial Mindset dan Entrepreneurial Skills pada Siswa SMK Nurul Islam. *Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, dan Entrepreneurship*, 11(2), 197. <https://doi.org/10.30588/jmp.v11i2.885>
- Irwansayah, F. S., Lubab, I., I, F., & Ramdhani, M. A. (2017). *Designing Interactive Electronic Module in Chemistry Lessons Designing Interactive Electronic Module in Chemistry Lessons.*
- Isnaini, N. A., Rosyida, N. I., Wulandari, R., Tarsono, T., & Hasbiyallah, H. (2023). Dari Stimulus-Respon hingga Modifikasi Perilaku; Tinjauan Teori Behaviorisme John B. Watson dan Realisasinya dalam Pembelajaran. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(12), 10062–10070. <https://doi.org/10.54371/jiip.v6i12.2442>
- Bawadi, A. J., Alip Rahadian, & Wahidah Fitriani. (2025). Penerapan Teori Belajar Classical Conditioning Dan Operant Conditioning Dalam Pembelajaran Pendidikan Agama Islam Di Madrasah Ibtidaiyah. *JISPE Journal of Islamic Primary Education*, 6(02), 171–183. <https://doi.org/10.51875/jispe.v6i02.920>.
- Kaya-Capocci, S., Pabuccu-Akis, A., & Orhan-Ozteber, N. (2024). Entrepreneurial STEM Education: Enhancing students' Resourcefulness and Problem-solving Skills. In *Research in Science Education* (Nomor 0123456789). <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10189-y>
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia. (2025). Naskah Akademik Pembelajaran Mendalam. In *Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia.*

- Kocakaya, S., & Gonen, S. (2010). The effects of computer-assisted instruction designed according to 7E model of constructivist learning on physics student teachers' achievement, concept learning, self-efficacy perceptions and attitudes. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 11(3), 206–224.
- Kontesa, D. A., & Fauziati, E. (2022). Teori Connectivism Dan Implikasinya Terhadap Pemanfaatan *E-Learning* Dalam Pembelajaran Di Sekolah Dasar. *Jurnal Mitra Swara Ganesha*, 9(2), 117–126. <http://ejournal.utp.ac.id/index.php/JMSG/article/view/2156>
- Lastri, Y. (2023). Pengembangan Dan Pemanfaatan Bahan Ajar E-Modul Dalam Proses Pembelajaran. *Jurnal Citra Pendidikan*, 3, 1139–1146. <https://doi.org/10.38048/jcp.v3i3.1914>
- Lestari, P. (2023). Litelatur Review: Potensi Ampas Tahu Sebagai Biobaterai Ramah Lingkungan. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 6(3), 168. <https://doi.org/10.31602/dl.v6i3.11928>
- Lévesque, M., Martin, O., & Nambisan, S. (2022). *Pursuing Impactful Entrepreneurship Research Using Artificial Intelligence*. 46(4). <http://doi.10.1177/1042258720927369>
- Menanamkan Kebiasaan Belajar Yang Efektif Pada Siswa. *Journal Educational Research and Development | E-ISSN : 3063-9158*, 1(3), 307–310. <https://doi.org/10.62379/jerd.v1i3.200>
- Manongga, D., Tambotoh, J. J. C., & Bawu, J. N. (2009). Perancangan Modul Pembelajaran Berbasis Interactive Multimedia Learning. *Jurnal Teknologi Informasi-Aiti*, 6(1), 1–100. <https://doi.org/10.21154/insecta.v5i1.8616>. DOI: <https://doi.org/10.21154/insecta.v5i1.8616>
- Mayer, R. E. (2024). The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 36(1), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1>
- Miksan, A. (2021). Ranah Kompetensi Khusus Kemampuan Kolaborasi dalam Pemecahan Masalah. *Dirasah : Jurnal Studi Ilmu dan Manajemen Pendidikan Islam*, 1(1), 120–134.
- Mustaqim, I., Kurniawan, N., Yogyakarta, U. N., Teknik, F., & Yogyakarta, U. N. (2017). *Pengembangan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran*. 14(2), 136–144.
- Nadia, H., Wiyono, K., & Sriyanti, I. (2024). Effectiveness of Using Physics E-Modules Based on Local Wisdom of Palembang City Food to Improve Collaboration Skills for High School Students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(9), 6376–6383. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i9.8439>

- Nadiyah, Oktarina, R. (2025). *Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis E-Modul Pada Mata Kuliah E-Commerce Terhadap*. 9(1), 54–63.
- Nugraha, A. W., & Syafi'ah, R. (2020). Pengembangan Buku Ajar Bioteknologi Berbasis Science, Technology, Engineering, Math (STEM) untuk Meningkatkan High Order Thinking Skill (HOTS). *Jurnal BIOEDUIN*, 0417(2). <https://doi.org/10.15575/>
- Nurasiah, S., Saefullah, A., & Antarnusa, G. (2025). PENGARUH E-MODUL FISIKA TERINTEGRASI ESD PADA TOPIK ENERGI TERBARUKAN TERHADAP KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS SISWA. 2025, 12(1), 123–133.
- Nurhidayanti, M. (2025). *Pengelolaan Sumber Daya Energi Terbarukan Berbasis Komunitas untuk Ketahanan Energi dan Perekonomian Lokal*. 1(1), 26–33.
- Ocetkiewicz, I., Tomaszewska, B., & Mróz, A. 2017. Renewable energy in education for sustainable development. The Polish experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80: 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.144>
- OECD. (2017). PISA 2015 Collaborative Problem Solving: Singapore . In *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining: Vol. V*.
- Purnamasari, W., Wati, W., & Rahmania, M. (2023). Development of Entrepreneurship Management e-Module Using Brainstorming-Based Professional Flip Pdf to Build Student Entrepreneurial Characteristics. *Ekλεκtik : Jurnal Pendidikan Ekonomi dan Kewirausahaan*, 5(2), 165. <https://doi.org/10.24014/ekl.v5i2.19897>
- Puspita, I. (2022). Penguatan Pemahaman Materi Gelombang Dan Bunyi Berbantuan Media Ebook Berbasis Collaborative Problem Solving (Cps) Dan Laboratorium Virtual Dalam Pembelajaran Era Metaverse . *Madaris: Jurnal Guru Inovatif*, 2(1), 59–69.
- Rahmah, A. N., Sari, M. S., & Balqais, B. (2024). *Developing a PBL Based E-Module on Plant Structure and Development Subject with Formative Assessment to Improve Students' Collaborative Problem-Solving (CPS) Skill*. 22(1), 51–57. <https://doi.org/10.19184/bioedu.v22i1.44673>
- Regina, Narimo, S., Fathoni, A., & Muhibbin, A. (2025). Implementasi Pembelajaran Kolaboratif Untuk Mengoptimalkan Critical Thinking Siswa Mata Pelajaran Produk Kreatif dan Kewirausahaan di Sekolah Menengah Kejuruan. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 14(2), 3293–3302.
- Ricu Sidiq, & Najuah. (2020). Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis Android pada Mata Kuliah Strategi Belajar Mengajar. *Jurnal Pendidikan*

*Sejarah*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.21009/JPS.091.01>

- Rizki, P., A., Sukestiyarno, Y. L., Cahyono, A. N., Negeri, M., Kudus, I., Balaidesa, J., Kudus, K., & Tengah, J. (2022). Problem-Solving Skill Based on Learning Independence Through Assistance in Independent Learning with Entrepreneurial-nuanced Modules. *Unnes Journal of Mathematics Education Research*, 11(1), 102–108. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujmer>
- Rizky, M., & Marsellina, M. (2025). Studi kasus pengaruh desain visual (warna dan tipografi) terhadap keterlibatan mahasiswa dalam pembelajaran daring di Google Classroom. *Aripi Journal*. <https://doi.org/10.61132/sadewa.v3i4.2429>
- Setyaningsih, E., Dani, A. U., & Munirah. (2025). *Jurnal mudabbir. Pengembangan Media e-Modul Interaktif Berbantuan Nearpod pada Materi Energi Terbarukan Kelas X SMAN 10 Makassar*, 5, 200–211.
- Shelfia, I. (2025). *Efektivitas Penggunaan E-Modul Berbasis Problem Solving Untuk Meningkatkan Berpikir Kreatif Dan Kemandirian Belajar Siswa*. 5(2), 13365–13371.
- Suryani, S., & Saparuddin. (2022). Efektivitas Penggunaan E-Modul Dalam Meningkatkan Kemampuan Collaborative Peserta Didik Pada Materi Klasifikasi Makhluk Hidup Kelas 10 Sman 9 Makassar. *Jurnal Biogenerasi*, 7(1), 91–98. <https://doi.org/10.30605/biogenerasi.v7i1.1645>
- Susantiningrum, Siswandari, Joyoatmojo, S., & Mafruhah, I. (2023). Leveling Entrepreneurial Skills of Vocational Secondary School Students in Indonesia: Impact of Demographic Characteristics. *International Journal for Research in Vocational Education and Training*, 10(1), 113–137. <https://doi.org/10.13152/IJRVET.10.1.6>
- Tamimiya, K. T., Gani, A. A., & Pramudya, D. A. P. (2017). Pengembangan modul pembelajaran IPA berbasis SETS untuk meningkatkan collaborative problem solving skills siswa SMP pada pokok bahasan cahaya. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 5(4), 392–398.
- Tohari, B., & Rahman, A. (2024). Konstruktivisme Lev Semonovich Vygotsky dan Jerome Bruner: Model Pembelajaran Aktif dalam Pengembangan Kemampuan Kognitif Anak. *Nusantara: Jurnal Pendidikan Indonesia*, 4(1), 209–228. <https://doi.org/10.14421/njpi.2024.v4i1-13>
- Wamsler, C., Brossmann, J., Hendersson, H., Kristjansdottir, R., McDonald, C., & Scarampi, P. (2018). Mindfulness in sustainability science, practice, and teaching. *Sustainability Science*, 13(1), 143–162. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0428-2>

- Widyanti, R. (2021). *Pengembangan E-Module Berbantuan Augmented Reality Terintegrasi STEM Untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kreatif Siswa*.
- Winarni. (2024). *Implikasi Teori Belajar Konstruktivisme Pada Pembelajaran Matematika di SD Negeri Galengdowo 1. 1*, 1–14.  
file:///D:/David/sumber dapus/dapus makalah teori belajar/67+-+Winarni,+S.Pd-14+halaman (2).pdf
- Yulastri, A., Hidayat, H., Ganefri, Islami, S., & Edya, F. (2017). Developing an Entrepreneurship Module by Using. *International Journal of Environmental & Science Education*, 12(5), 1097–1109.
- Yuliana, A. S., Parno, & Taufiq, A. (2020). Application of teaching materials based on 7E-STEM learning cycle to improve student's problem solving skills. *AIP Conference Proceedings*, 2215(April).  
<https://doi.org/10.1063/5.0000535>
- Zulaika, A., Erlina, & Rachmat Sahputra. (2022). *Jurnal Pendidikan MIPA*. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(1), 1–7.
- Schunk, D. H. (2012). *Learning Theories*. (Terjemahann Eva Hamdiah dan Rahmat Fajar). Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Solichin, M. M. (2024). *Paradigma Konstruktivisme Dalam Belajar Dan Pembelajaran*. Duta Media Publishing.
- Sri Nurhayati dkk. (2024). *Buku Ajar Teori Belajar Dan Pembelajaran*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.