

**PENGEMBANGAN PROGRAM PEMBELAJARAN BERBASIS
MULTIPLE REPRESENTATIONS TERINTEGRASI *PjBL*
STEM UNTUK MELATIH KETERAMPILAN
BERPIKIR SPASIAL DAN LITERASI
SUSTAINABILITY SISWA SMA
PADA TOPIK ENERGI
TERBARUKAN**

(Tesis)

Oleh

**DENI ANGGRAINI
NPM 2123022002**



**MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

**PENGEMBANGAN PROGRAM PEMBELAJARAN BERBASIS
MULTIPLE REPRESENTATIONS TERINTEGRASI *PjBL*
STEM UNTUK MELATIH KETERAMPILAN
BERPIKIR SPASIAL DAN LITERASI
SUSTAINABILITY SISWA SMA
PADA TOPIK ENERGI
TERBARUKAN**

Oleh

DENI ANGGRAINI

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kevalidan, kepraktisan dan keefektifan program pembelajaran energi terbarukan berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa. Penelitian ini menggunakan metode campuran dengan R&D model *ADDIE*. Subjek penelitian adalah siswa SMA N 2 Kotabumi yaitu kelas XI MIPA 3 (kelas eksperimen) dan kelas XI MIPA 2 (kelas kontrol). Hasil penelitian menunjukkan bahwa program pembelajaran yang dikembangkan memiliki (1) Validitas yang sangat tinggi; (2) Praktis dalam implementasinya; (3) Efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability*. Dengan demikian program pembelajaran berhasil memaksimalkan potensi peserta didik dan meminimalisir kesenjangan belajar (*learning gap*). Selain itu, kegiatan pembelajaran dapat melatih literasi *sustainability* terkait energi terbarukan yaitu (*sustainability attitudes*)/ perasaan mampu secara pribadi yang mempengaruhi sikap berkelanjutan dimana siswa telah mampu membuat energi terbarukan dan memiliki sikap menghemat energi serta mempresentasikan hasilnya. Pengembangan program pembelajaran yang dilakukan penulis sangat direkomendasikan karena membuat siswa aktif belajar dan sejalan dengan kebijakan pemerintah dalam implementasi kurikulum saat ini dimana pembelajaran harus berbasis proyek.

Analisis data hasil penelitian menunjukkan bahwa program pembelajaran yang dikembangkan layak untuk dijadikan alternatif inovasi pembelajaran fisika khususnya pada topik energi terbarukan dalam mempersiapkan generasi muda yang lebih siap menghadapi perubahan dan perkembangan zaman.

Kata Kunci: Keterampilan Berpikir Spasial, Literasi *Sustainability*, *Multiple Representations*, *PjBL STEM*, Energi Terbarukan.

ABSTRACT

DEVELOPMENT LEARNING PROGRAM BASED MULTIPLE REPRESENTATIONS INTEGRATED PjBL *STEM* TO FOSTER SPATIAL THINKING SKILLS AND *SUSTAINABILITY* LITERACY STUDENT HIGH SCHOOL ON THE TOPIC OF RENEWABLE ENERGY

By

DENI ANGGRAINI

This study aims to describe the validity, practicality and effectiveness of a renewable energy learning program based on multiple representations integrated PjBL STEM to foster students' spatial thinking skills and sustainability literacy. This study uses mixed methods with the ADDIE R&D model. The research subjects were students of SMA N 2 Kotabumi, namely class XI MIPA 3 (experimental class) and class XI MIPA 2 (control class). The research results show that the learning program developed has (1) very high validity; (2) practical in its implementation; (3) Effective in improving spatial thinking skills and sustainability literacy. Thus the learning program succeeds in maximizing the potential of students and minimizing learning gaps. Besides that, learning activities can foster sustainability literacy related to renewable energy, namely (sustainability attitudes) / feelings of personal ability that affect sustainable attitudes where students have been able to make renewable energy and have an attitude of saving energy and presenting the results. The development of learning programs carried out by the author is highly recommended because it makes students actively learn and is in line with government policies in implementing the current curriculum where learning must be project-based.

Analysis of research data shows that the learning program developed is feasible to be used as an alternative innovation in physics learning, especially on the topic of renewable energy in preparing young people who are better prepared to face changes and developments of the times.

Keywords: Spatial Thinking Skills, Sustainability Literacy, Multiple Representations, PjBL STEM, Renewable Energy.

**PENGEMBANGAN PROGRAM PEMBELAJARAN BERBASIS
MULTIPLE REPRESENTATIONS TERINTEGRASI *PjBL*
STEM UNTUK MELATIH KETERAMPILAN
BERPIKIR SPASIAL DAN LITERASI
SUSTAINABILITY SISWA SMA
PADA TOPIK ENERGI
TERBARUKAN**

Oleh

DENI ANGGRAINI

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA

Pada

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



**MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Tesis : **PENGEMBANGAN PROGRAM PEMBELAJARAN BERBASIS *MULTIPLE REPRESENTATIONS* TERINTEGRASI *PjBL STEM* UNTUK MELATIH KETERAMPILAN BERPIKIR SPASIAL DAN LITERASI *SUSTAINABILITY* SISWA SMA PADA TOPIK ENERGI TERBARUKAN**

Nama Mahasiswa : **Deni Anggraini**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2123022002**


Program Studi : **Magister Pendidikan Fisika**

Jurusan : **Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

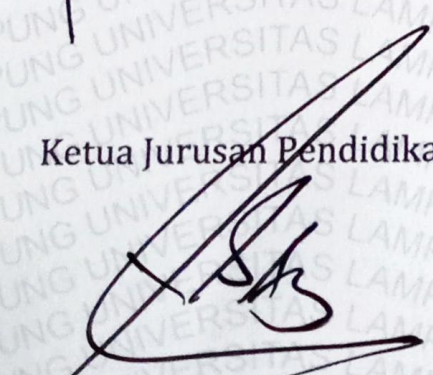
Fakultas : **Keguruan dan Ilmu Pendidikan**

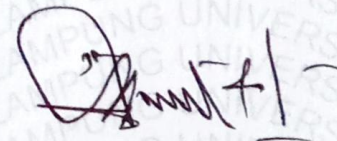
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


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


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


Ketua Jurusan Pendidikan MIPA


Ketua Program Studi
Magister Pendidikan Fisika

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

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

MENGESAHKAN

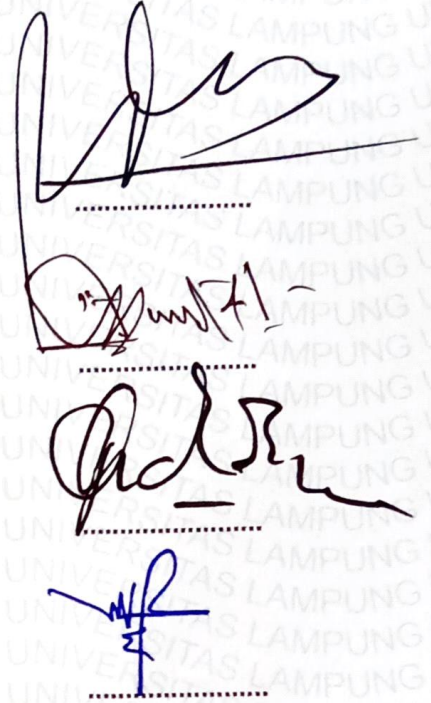
1. Tim Penguji

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

Sekretaris : **Dr. Kartini Herlina, M.Si.**

Penguji Anggota : **Dr. Chandra Ertikanto, M.Pd.**

Dr. Viyanti, M.Pd.

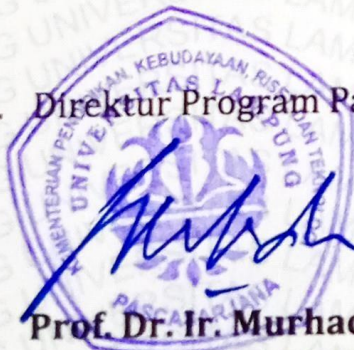


Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Prof. Dr. Sunyono, M.Si.
NIP. 19651230 199111 1 001

3. Direktur Program Pascasarjana



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

4. Tanggal Lulus Ujian Tesis : **29 Mei 2023**

SURAT PERNYATAAN

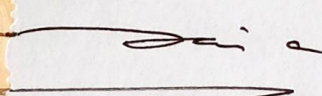
Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Deni Anggraini
NPM : 2123022002
Program Studi : Magister Pendidikan Fisika
Jurusan : Pendidikan MIPA
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

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



Bandar Lampung, 03 Februari 2023


Deni Anggraini
NPM 2123022002

RIWAYAT HIDUP

Deni Anggraini merupakan anak bungsu dari 4 bersaudara dari pasangan (alm) Bapak Panut Yanis R dan Ibu Painem. Lahir di Kotabumi, 04 Oktober 1983. Penulis menikah dengan Sahril Emarsad dan dikaruniai 2 orang anak yaitu Fatih Hirzi Arsyad dan Jihan Varisha Arsyad.

Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di FKIP UNILA pada tahun 2006 dengan predikat Cumlaude. Pada tahun 2009 menjadi guru PNS di SMA N 2 Kotabumi, saat ini aktif sebagai guru fisika kelas XI MIPA sekaligus Kepala Laboratorium IPA.

Pada tahun 2015 memperoleh nilai UKG tertinggi bidang Fisika SMA kabupaten Lampung Utara. Tahun 2016 juara 1 Olimpiade Guru Nasional (OGN) tingkat propinsi dan menjadi Finalis OGN bidang Fisika SMA tingkat Nasional. Pada tahun 2017 sebagai Instruktur Program PKB dan pada tahun 2019 juara 1 Guru berprestasi wilayah IV propinsi lampung. Praktek baik/*best practice* tahun 2019 dengan judul “Penggunaan *Content Representation (CoRe)* dan *Pedagogical and Professional Experience Repertories (PaP-eRs)* Oleh Guru Untuk Meningkatkan Proses Pembelajaran Fisika” dan pada tahun 2020 membuat *best practice* dengan judul “*Spectrometer* Terstandar untuk Mengamati *Spectrum* Warna Gelombang Cahaya serta Mengetahui Rentang Panjang Gelombangnya untuk Menimbulkan Pembelajaran Bermakna Materi Gelombang Cahaya pada Siswa”. Tahun 2021/2022 menjadi pengajar praktik program pendidikan guru penggerak angkatan 3, dan tahun 2022/2023 menjadi pengajar praktik program pendidikan guru penggerak angkatan 6 serta menjadi guru pamong dalam program PPG daljab Unila.

MOTTO

“Segala sesuatu yang terjadi serta semua hal yang kita capai dan miliki adalah mutlak karena rahmat dan berkah serta izin dari Allah SWT yang Maha Kuasa”

“Jika kita yakin pada Allah, tentulah tidak akan ada lagi kegelisihan/kekhawatiran karena sesungguhnya bagi setiap muslim segala keadaanya adalah baik, jika sulit maka bersabar, jika bahagia maka bersyukur, Semua terjadi atas izin Allah SWT. Hanya dengan mengingat Allah hati menjadi tenang.”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji dan syukur bagi Allah SWT, yang dengan nama-Nya bumi dihamparkan, yang dengan nama-Nya langit ditinggikan, yang dengan kasih sayang-Nya nan mulia tak terperi penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis dengan judul “Pengembangan Program Pembelajaran Berbasis *Multiple Representations* Terintegrasi *PjBL STEM* untuk Melatih Keterampilan Berpikir Spasial dan Literasi *Sustainability* Siswa SMA pada Topik Energi Terbarukan” Pada kesempatan kali ini tak lupa penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan tesis ini.

1. Mama Painem dan alm Bapak Panut Yanis R, yang selalu tulus mendoakan, membesarkan dan menyayangi penulis tanpa syarat sehingga penulis menjadi seperti saat ini, semoga Allah SWT selalu melimpahkan keberkahan dan kebaikan di dunia dan akhirat untuk Mama dan Bapak.
2. Aying Sahril Emarsad, Jodoh terbaik pilihan Allah SWT, terimakasih selalu mengajarkan arti kuat dan mandiri selama ini.
3. Fatih Hirzi Arsyad yang terkasih dan terbaik serta selalu membuat bunda bangga dalam segala hal, dan Jihan Varisha Arsyad tersayang yang baik hati terimakasih selalu menemani perjuangan bunda, selalu menjadi pendukung nomor 1, Sahabat terbaik bunda.
4. Kak Feri, kakak terbaik yang selalu bijaksana dan menjadi pendukung apapun yang terjadi bahkan saat dunia tak bersahabat, mbak Yesi dan kak Franki yang selalu peduli dan baik hati.
5. Serta semua keponakan, Fathur, Dzaki, Aziz, Silfi, Zahra, Fatan, Hilwa, Krisna, Kinara, Fatih, dan mbak-mbak/ kakak ipar.
6. Umi yang baik hati, selalu memotivasi dan perhatian semoga Allah SWT membalas kebaikan Umi.

7. Adik-adik serta sahabat di MPFis 2021 Laili, Septi, Alda, Azizah, Karlina, Fitri, Bu Novi serta Oji dan Apri terimakasih atas kekompakan dan kebaikan kalian semua.
8. Ida, Cempluk, Mbak Yuli, Pak Cholik, Erlita, Mbak Novi, Mbak Endah, Riyan, Fanishal, Andi dan Nave yang selalu baik hati dan telah menganggap penulis seperti keluarga.
9. Serta anak-anak kelas XI MIPA 1,2, dan 3 SMA N 2 Kotabumi tahun ajaran 2022/2023 yang ibu sayangi.

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

Bandar Lampung, 03 Febuari 2023

Deni Anggraini

SANWACANA

Alhamdulillah, segala puji dan syukur bagi Allah SWT, yang dengan nama-Nya bumi dihamparkan, yang dengan nama-Nya langit ditinggikan, yang dengan kasih sayang-Nya nan mulia tak terperi peneliti dapat menyelesaikan penulisan Tesis dengan judul “Pengembangan Program Pembelajaran Berbasis *Multiple Representations* Terintegrasi *PjBL STEM* untuk Melatih Keterampilan Berpikir Spasial dan Literasi *Sustainability* Siswa SMA pada Topik Energi Terbarukan” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada program Pascasarjana Pendidikan Fisika di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

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

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

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

Bandar Lampung, 03 Febuari 2023

Deni Anggraini

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Ruang lingkup Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Program Pembelajaran	8
2.2 Teori Konstruktivisme.....	9
2.3 Teori Scaffolding Vygotsky	10
2.4 Teori Pembelajaran Kognitif	11
2.5 Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia	12
2.6 Teori Eksternal <i>Multiple Representations</i>	13
2.7 Pendekatan <i>STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)</i> ..	18
2.8 <i>Multiple representations</i> terintegrasi <i>STEM</i>	19
2.9 <i>Education for Sustainable Development (ESD)</i>	21
2.10 <i>STEM for Sustainability Literacy</i> Siswa	22
2.11 Keterampilan Berpikir Spasial	22
2.12 <i>Project Based Learning</i>	23
2.13 <i>PjBL STEM</i>	26
2.14 Validitas, Praktikalitas dan Efektifitas Program Pembelajaran.....	27
2.15 Penelitian Terdahulu dan <i>Research Gaps</i>	28
2.16 . Kerangka Pemikiran	28

III. METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.2 Desain Penelitian	32
3.3 Teknik dan Pengumpulan Data	37
3.4 Analisis Data	38
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Hasil.....	42
4.2 Pembahasan.....	96
V. KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA.....	105
LAMPIRAN.....	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.. Pembelajaran Multimedia (Mayer dan Moreno, 2003).....	12
2. Kerangka Pemikiran.....	31
3. Konsep ADDIE (Branch, 2010).....	32
4. Tahap Implementasi Program Pembelajaran	35
5. Pembelajaran Berbasis <i>Multiple Representations</i>	53
6. Siswa Melakukan Pembelajaran Berdiferensiasi Konten melalui <i>e-Handout</i> , <i>e-LKPD</i> , dan <i>e- Komik</i>	54
7. Siswa Mengamati Komik Energi Terbarukan dalam Bentuk Cetak/ <i>Print Out</i>	55
8. Gambar Siswa Mengamati <i>e- Handout</i> untuk Mengidentifikasi Sumber-Sumber Energi	55
9. Contoh Hasil Identifikasi dan Klasifikasi Sumber Energi oleh Siswa.....	56
10. Siswa Menggunakan Aplikasi Canva dalam Menuliskan Jawaban Pertanyaan yang Ada di <i>e-Handout</i> atau <i>e-LKPD</i>	57
11. Siswa Memperhatikan Diagram	57
12. Siswa Mengemukakan Pendapatnya	58
13. Siswa Mempresentasikan Hasil Diskusinya Menggunakan Grafik/Diagram .	58
14. Guru Melakukan <i>On Going Assessment</i> Setiap Siswa Melakukan.....	59
15. Siswa Berkampanye Menggunakan Poster Terhadap Upaya.....	59
16. Siswa Berkolaborasi Menyusun Jadwal dan Lain-lain.	60
17. Siswa Berkunjung ke PTPN VII Penghasil Limbah <i>Molase</i>	61
18. Potensi Lokal yang Ada di Sekitar SMA N 2 Kotabumi (Limbah Tebu).....	61
19. Potensi Lokal Sampah Daun Kering	61
20. Siswa Melakukan Wawancara terhadap Tim Ahli.....	62
21. Siswa Belajar Mandiri Baik Menggunakan Internet maupun Berdiskusi.....	62
22. Gambar Siswa Berdiskusi di Dalam Kelompok Menyelesaikan Jawaban Pertanyaan yang Ada di <i>e-LKPD</i> ataupun <i>e- Handout</i>	63
23. Gambar Siswa Menyusun Jadwal	64
24. Contoh Hasil Jadwal Siswa Kelompok 6	64
25. Guru Memberikan Arahan Terkait Proyek yang Akan Dilakukan	65
26. Siswa Melakukan Pembuatan <i>Bioethanol</i>	65
27. Siswa Melakukan Kegiatan Destilasi Biang Fermentasi yang Dibuat.....	66
28. Gambar Ujicoba <i>Bioethanol</i> Kadar 79 %	66
29. Gambar Nyala Api Kompor <i>Bioethanol</i>	67
30. Ujicoba Briket	67
31. Nyala Api Briket	68

32. Contoh Poster Hasil Buatan Siswa Kelompok 1	69
33. Contoh Poster Hasil Buatan Siswa Kelompok 2.....	70
34. Siswa Mempresentasikan Hasil Diskusi dan Proyeknya	71
35. Siswa Mempresentasikan Kelebihan dan Kekurangan dari Briket yang Dibuat Serta Rencana Perbaikan ke Depan	72
36. Siswa Menunjukkan <i>Bioethanol</i> Hasil Buatannya.....	72
37. Siswa Melakukan Refleksi di Akhir Pembelajaran.....	73
38. Diagram Batang Perbandingan <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Keterampilan Berpikir Spasial Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen	75
39. Diagram Batang Perbandingan <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan Kelas kontrol dan Kelas Eksperimen	80
40. Diagram Batang Perbandingan <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi <i>Skill</i> Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen	84
41. Diagram Batang Perbandingan <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen	88
42. Diagram Batang Perbandingan <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Perilaku Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen	92
43. Hasil Kerja Siswa Terkait Desain Proyek yang Akan Dibuat	97

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pengubahan Nilai Kualitatif Menjadi Nilai Kuantitatif	38
2. Kriteria Kevalidan Nilai	40
3. Pengubahan Nilai Kualitatif Menjadi Nilai Kuantitatif	40
4. Kategori Tingkat Kepraktisan Perangkat Pembelajaran	41
5. Rangkuman Hasil Validasi Konstruk.....	47
6. Hasil Revisi Berdasarkan Hasil Validasi Konstruk	47
7. Rangkuman Hasil Validasi Isi.....	50
8. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Keterampilan Berpikir Spasial.....	75
9. Hasil Analisis <i>One Sample Kolmogorov-Smirnov</i> Keterampilan Berpikir Spasial	76
10. <i>Ranks</i> Hasil Analisis <i>Wilcoxon (Pretest Posttest</i> Keterampilan Berpikir Spasial).....	77
11. Hasil Analisis <i>Wilcoxon Signed Ranks Test</i>	77
12. <i>N gain</i> Keterampilan Berpikir Spasial Kelas Kontrol dan Eksperimen.....	78
13. Uji Normalitas <i>One Sample KS</i>	78
14. Analisis <i>Non Parametrik 2 Independent Samples</i>	78
15. <i>Man Whitney U</i>	79
16. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen.....	79
17. Hasil Analisis <i>One Sample Kolmogorov-Smirnov</i>	80
18. <i>Ranks</i> Hasil Analisis <i>Wilcoxon Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan.....	81
19. Hasil Analisis <i>Wilcoxon Signed Ranks Test</i>	81
20. <i>N gain</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan Kelas Kontrol dan Eksperimen	82
21. Hasil Analisis <i>One Sample KS</i>	82
22. Analisis <i>Parametrik Independent Sample T test</i>	83
23. <i>Independent Sample T test</i>	83
24. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi <i>Skill/</i> Kompetensi.	83
25. Hasil Analisis <i>One Sample Kolmogorov-Smirnov</i>	85

26. <i>Ranks Hasil Analisis Wilcoxon Pretest Posttest Literasi Sustainability</i> Dimensi <i>Skill/Kompetensi</i>	82
27. Hasil Analisis <i>Wilcoxon Signed Ranks Test</i>	83
28. <i>N gain</i> Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi <i>Skill/ Kompetensi</i>	83
29. Hasil Analisis <i>One Sample KS</i>	84
30. Analisis <i>Non Parametrik 2 Independent Samples</i>	84
31. Tabel <i>Man Whittney U</i>	84
32. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap...	85
33. Hasil Analisis <i>One Sample Kolmogorov-Smirnov</i>	86
34. <i>Ranks Hasil Analisis Wilcoxon (Pretest Posttest Literasi Sustainability</i> Dimensi Sikap).....	86
35. Hasil Analisis <i>Wilcoxon Signed Ranks Test</i>	87
36. Rata-Rata <i>N gain</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap	87
37. Hasil Analisis <i>One Sample KS</i>	88
38. Analisis <i>Non Parametrik 2 Independent Samples</i>	88
39. Tabel <i>Man Whittney U</i>	88
40. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Perilaku	89
41. Hasil Analisis <i>One Sample Kolmogorov-Smirnov</i>	90
42. <i>Ranks Hasil Analisis Wilcoxon (Pretest Posttest Literasi Sustainability</i> Dimensi Perilaku)	90
43. Hasil Analisis <i>Wilcoxon Signed Ranks Test</i>	91
44. Rata-Rata <i>N gain</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Perilaku.....	91
45. Uji <i>One Sample KS</i>	92
46. Analisis <i>Non Parametrik 2 Independent Samples</i>	92
47. Tabel <i>Man Whittney U</i>	92
48. Rekapitulasi Hasil Belajar Siswa	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Analisis Kebutuhan Guru	113
2. Kisi-kisi Instrumen Pengukuran Literasi <i>Sustainability</i> & Kemampuan Berpikir Spasial.....	114
3. Soal Literasi <i>Sustainability</i> dan Keterampilan Berpikir Spasial	123
4. <i>e- Handout</i>	144
5. <i>e- LKPD</i>	145
6. <i>e- Komik</i>	146
7. RPP.....	147
8. Lembar Validasi Isi	177
9. Lembar Validasi Konstruk	196
10. Hasil Validasi (<i>e-Handout</i>)	209
11. Hasil Validasi <i>e-LKPD</i>	213
12. Hasil Validasi <i>e-Komik</i>	217
13. Rangkuman Hasil Validasi Konstruk.....	219
14. Hasil Revisi Berdasarkan Hasil Validasi Konstruk	220
15. Hasil Validasi RPP	221
16. Hasil Penilaian Validasi Isi <i>e-LKPD</i>	226
17. Hasil Validasi Isi <i>STEM</i> dalam Pembelajaran	230
18. Hasil Validasi Isi Sintaks <i>PjBL</i> George Lucas dalam <i>e-LKPD</i>	231
19. Validasi Isi Bahasa dalam <i>e-LKPD</i>	233
20. Hasil Validasi Isi <i>e-Handout</i>	234
21. Hasil Validasi Isi Bahasa dalam <i>e-Handout</i>	237
22. Rangkuman Hasil Validasi Isi.....	239
23. Hasil Revisi Berdasarkan Hasil Validasi Isi	240
24. Reliabilitas Soal	243
25. Instrumen Kepraktisan (Lembar Kemenarikan dan Keterbacaan).....	244
26. Tabel Variabel untuk Proses Pembelajaran (<i>Checklist</i> Protokol Pelaksanaan)	249
27. Lembar Observasi Keterlaksanaan Pembelajaran	252
28. Hasil Instrumen Kepraktisan (Kemenarikan dan Keterbacaan) oleh Siswa	258

29. Rekapitulasi Observasi Keterlaksanaan Program Pembelajaran.....	260
30. Rekapitulasi Observasi Siswa	265
31. Nilai <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Keterampilan Berpikir Spasial	267
32. Hasil Statistik <i>Descriptive</i> Keterampilan Berpikir Spasial	269
33. <i>N gain</i> Keterampilan Berpikir Spasial Kelas Kontrol dan Eksperimen	270
34. Analisis <i>One Sample KS</i>	272
35. Hasil <i>Man Whitney Test</i>	273
36. Uji Normalitas <i>N gain</i> Keterampilan Berpikir Spasial	274
37. Nilai <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen	275
38. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen.....	276
39. <i>N gain</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan.....	277
40. Analisis <i>One Sampe KS</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Pengetahuan	279
41. Analisis <i>Parametrik Independent Sample T test</i>	280
42. <i>Independent Sample T test</i>	281
43. <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi <i>Skill</i> / Kompetensi	282
44. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi <i>Skill</i> / Kompetensi	284
45. <i>N gain Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi <i>Skill</i> / Kompetensi	285
46. Hasil Analisis <i>One Sample KS</i> Dimensi <i>Skill</i>	287
47. <i>Man Whitney Test</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi <i>Skill</i>	288
48. Nilai <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap.....	289
49. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap.	290
50. <i>N gain</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap	291
51. Analisis <i>One Sample KS</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap.....	293
52. <i>Man Whitney</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Sikap	294
53. Nilai <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Perilaku.....	295
54. Analisis Deskriptif <i>Pretest Posttest</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Perilaku	296
55. <i>N gain</i> Literasi <i>Sustainability</i> Dimensi Perilaku.....	297
56. Analisis <i>One Sample KS</i>	298
57. Tabel <i>Man Whittney U</i>	299
58. Data MSI.....	300

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia dihadapkan pada kondisi semakin berkurangnya energi berbahan bakar fosil sehingga dibutuhkan inovasi baru dalam penyediaan energi terbarukan (Eshiemogie *et al.*, 2022). Isu energi terbarukan mulai dimasukkan dan diajarkan dalam kurikulum sekolah di negara-negara maju untuk menanamkan pentingnya kesadaran energi terbarukan (Ocetkiewicz *et al.*, 2017). Oleh karena itu generasi muda di Indonesia harus mendapatkan pengetahuan yang layak sebagai warga dunia dalam mengatasi permasalahan tersebut dan menjadi bagian dari solusi terhadap tantangan global serta melatih literasi *sustainability* siswa (Cebrián *et al.*, 2020; Lopez-Medina *et al.*, 2019; Probst *et al.*, 2019). Literasi *sustainability* dalam hal ini merupakan pengetahuan, sikap, dan perilaku keberlanjutan terkait efisiensi energi dan pembuatan energi terbarukan (Davis *et al.*, 2009). Literasi ini dapat dilatihkan melalui pendekatan *STEM* (Barry *et al.*, 2017).

Pendekatan *STEM* dikembangkan dengan mengasosiasikan konsep yang diajarkan dengan permasalahan dalam dunia nyata yang berkaitan dengan lingkungan (Pratiwi *et al.*, 2021) diantaranya keterampilan berpikir spasial yang memungkinkan seseorang mengelola, memahami, memanipulasi ruang secara mental antara nyata dan imajinasi (Gagnier *et al.*, 2021). Hal ini menurut Gagnier., *et al* (2021), dapat diwujudkan melalui interpretasi bentuk, ukuran, orientasi arah, hubungan antar objek, visualisasi objek, dan lain-lain.

Keterampilan berpikir spasial sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari dimana seseorang menggunakan representasi sebuah ruang sebagai sebuah arah navigasi atau peta (Gagnier *et al.*, 2021). Selain itu *STEM* telah banyak digunakan di negara-negara ASEAN sebagai pembelajaran berbasis masalah (Nuangchalerm *et al.*, 2020). Bahkan penelitian sebelumnya menunjukkan adanya korelasi antara *STEM* dan kemampuan berpikir spasial (Lubinski, 2010; Taylor & Hutton, 2013). Dimana keterampilan berpikir spasial merupakan salah satu hal yang menjanjikan untuk meningkatkan *STEM* (Newcombe, 2017). Selain itu bidang lain yang memainkan peranan penting dalam meningkatkan *STEM* adalah *multiple representations* (Rau, 2017). Penggunaan *multiple representations* dalam kegiatan pembelajaran sangat dibutuhkan, khususnya untuk mempelajari konsep-konsep yang cukup abstrak, seperti diberbagai mata pelajaran berbasis hitungan seperti Matematika maupun Fisika (Syahmel & Jumadi, 2020).

Permasalahan pada pembelajaran Fisika khususnya topik energi terbarukan di Indonesia belum melibatkan kearifan lokal yang memfasilitasi beraneka ragam kebutuhan belajar siswa (*multiple representations*) serta belum melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa (Pratiwi *et al.*, 2021; Yulia *et al.*, 2020). Berdasarkan hal tersebut perlu adanya inovasi berupa pengembangan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa. Hal ini penting karena banyak pemikiran ilmiah bersifat spasial dan bahkan informasi non-spasial sering dikomunikasikan menggunakan peta, diagram, grafik, analogi dan bentuk spasial lainnya (Newcombe, 2017). Selain itu, semakin banyak penelitian intervensi menunjukkan bahwa meningkatkan keterampilan berpikir spasial siswa meningkatkan hasil *STEM* (Sorby *et al.*, 2018). Sehingga melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* sangat krusial dilakukan (Jeong & González-Gómez, 2020; Russel *et al.*, 2021). Melalui pembuatan energi terbarukan (*bioethanol*) yang memanfaatkan sisa limbah tetes tebu yang berada di lingkungan sekitar/ kearifan lokal yang ada (Ghorbani *et al.*, 2011) diharapkan siswa memiliki literasi

sustainability (Campbell *et al.*, 2021; Serpa & Sá, 2018) dalam menghadapi tantangan global dan masalah yang dihadapi di masa mendatang.

Hasil analisis kebutuhan guru melalui *google form* dalam pembelajaran fisika materi energi terbarukan yang terdiri dari 25 orang guru fisika SMA se provinsi Lampung dengan rata-rata mengajar guru antara 2-36 tahun menunjukkan bahwa pembelajaran konsep energi terbarukan dengan model *PjBL* baru sebesar 32% padahal pada materi ini seharusnya penggunaan model *PjBL* digunakan untuk menghasilkan produk berupa energi alternatif sebagai upaya untuk menghadapi keterbatasan energi di masa mendatang. Selain itu 72 % guru menyatakan faktor kesulitan dalam pembelajaran energi terbarukan adalah keterbatasan alat melakukan praktikum padahal dapat memanfaatkan lingkungan sekitar dalam kegiatan pembelajaran, 52 % karena keterbatasan media visual untuk memvisualkan fenomena berpikir spasial (gambar, grafik, bagan, video, animasi dan lain-lain), 48% guru menyatakan keterbatasan media pembelajaran dan 36% keterbatasan sumber belajar yang berisikan berbagai representasi (*multiple representations*) dan 12 % lainnya. Adapun beberapa kesulitan siswa menurut guru yaitu tidak tergambar energi terbarukan itu sendiri dan bagaimana mempraktekan cara menghasilkan salah satu energi terbarukan, kurangnya media dan keluasan materi sumber belajar, serta keterbatasan alat dan bahan pembuatan proyek. Dimana dalam membelajarkan materi energi terbarukan sebanyak 88% guru menggunakan internet, 84% menggunakan buku disebabkan keduanya mudah diakses dan 36 % menggunakan LKPD, 28% website, 8 % *e-handout* dan 8% lainnya.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan ini juga diketahui guru dalam membelajarkan materi energi terbarukan hanya menggunakan metode diskusi yaitu sebanyak 80% guru yang menjawab diskusi dan sebanyak 44% guru masih menggunakan metode ceramah sedangkan untuk metode eksperimen baru 24 %. Diketahui pula dari hasil analisis kebutuhan bahwa dalam mengajarkan materi energi terbarukan guru belum melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* kepada siswa.

Implementasi pendekatan *STEM* berbasis *multiple representations* dengan menggali potensi lokal sangat penting diterapkan untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* dalam pembelajaran Fisika, namun saat ini di Indonesia belum banyak dikembangkan pembelajaran dengan pendekatan tersebut, khususnya pada topik energi terbarukan (Azzahra *et al.*, 2022; Desnita, 2015; Dinantika *et al.*, 2019; Nugroho *et al.*, 2019; Putri *et al.*, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Azzahra *et al.* (2022) mengembangkan *e-modul* pada materi sumber energi terbarukan namun menggunakan pendekatan *SETS* selain itu kegiatan pembelajaran hanya berfokus pada aspek kognitif sedangkan aspek psikomotorik dan afektif tidak menonjol. Sedangkan Desnita (2015) mengembangkan kurikulum berbasis lingkungan pada materi energi terbarukan tetapi tidak ditujukan untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa. Pada penelitian Dinantika *et al.* (2019) dan Putri *et al.* (2019), keduanya menerapkan model pada materi energi terbarukan namun penelitian Dinantika *et al.* (2019) fokus mengukur pengaruh model yang dikembangkan terhadap kreativitas siswa dan penelitian Putri *et al.* (2019) fokus pada pengaruh penerapan model terhadap hasil belajar siswa. Penelitian yang dilakukan Nugroho *et al.* (2019) hanya sebatas literatur *review* pendekatan *STEM* berbasis kearifan lokal untuk meningkatkan literasi *sustainability* tetapi tidak dilakukan pengembangan program pembelajaran. Dengan demikian telah dilakukan sebuah penelitian untuk mengembangkan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* yang terdiri dari RPP, *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* yang valid menurut ahli untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA pada topik energi terbarukan?
2. Bagaimanakah kepraktisan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* menurut *observer* guru dan siswa untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA pada topik energi terbarukan?
3. Bagaimanakah keefektifan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA pada topik energi terbarukan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan kevalidan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* pada topik energi terbarukan yang tervalidasi oleh ahli untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA.
2. Mendeskripsikan kepraktisan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA pada topik energi terbarukan.
3. Mendeskripsikan keefektifan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA pada topik energi terbarukan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagi peneliti dapat memberikan pengetahuan, wawasan, pengalaman dan bekal berharga terutama dalam pengembangan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* pada topik energi terbarukan.
- b) Bagi pendidik dapat memberikan informasi bagaimana pelaksanaan kegiatan pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA pada topik energi terbarukan.
- c) Bagi siswa dapat memberikan pengalaman belajar dalam melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability*.
- d) Bagi dunia pendidikan dapat memberikan masukan dan sumbangan pemikiran dalam upaya peningkatan kualitas proses pembelajaran fisika.
- e) Bagi peneliti selanjutnya dapat dijadikan sebagai acuan program pembelajaran yang dapat dikembangkan dengan modifikasi.

1.5 Ruang lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian pengembangan ini yaitu:

1. Pengembangan dalam penelitian ini adalah pengembangan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* yang terdiri dari RPP, *e-LKPD*, *e-handout*, dan *e-komik* pembelajaran.
2. *Multiple representations* dalam penelitian ini adalah penyajian suatu masalah dengan banyak representasi baik teks, gambar, grafik, diagram dan video.
3. Sintaks *PjBL* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sintaks Lucas.
4. Pendekatan *STEM* dalam penelitian ini adalah rekayasa teknologi pembuatan *bioethanol* dari sisa limbah tetes tebu atau pembuatan briket dari sampah daun kering.

5. Keterampilan berpikir spasial dalam penelitian ini yaitu kemampuan siswa yang bersifat kognitif dalam memahami dan mengelola secara mental antara nyata dan imaginasi dengan indikator dapat memahami bentuk, dapat memahami ukuran, mengetahui hubungan antar objek, visualisasi objek dan lain- lain.
6. Literasi *sustainability* dalam penelitian ini merupakan pengetahuan, sikap, dan perilaku keberlanjutan terkait efisiensi energi dan pembuatan energi terbarukan berupa *bioethanol*/ briket dengan indikator: memiliki pengetahuan terkait energi terbarukan, memiliki sikap peduli terhadap efisiensi energi, perasaan mampu secara pribadi yang mempengaruhi perilaku keberlanjutan dalam membuat energi terbarukan (*bioethanol*/ briket).
7. KD yang dikembangkan dalam penelitian ini yaitu KD 3.11 dan 4.11 mengenai energi terbarukan (mulai dari *enrichment* KD, indikator dan tujuan pembelajaran).
8. Program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* mempunyai rasional teoritik yang dikembangkan berdasarkan teori konstruktivisme, teori *Scaffolding* Vygotsky, teori belajar kognitif, teori kognitif pembelajaran multimedia, dan teori eksternal *multiple representations*.
9. Program pembelajaran dikatakan efektif jika hasil belajar sesuai kisi instrumen keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* meningkat ditandai dengan nilai *N gain* kelas eksperimen yang lebih besar dibanding dengan kelas kontrol (nilai *N gain* > 0,5).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Program Pembelajaran

Definisi program pembelajaran dari *South African Qualifications Authority (SAQA)* adalah “*A learning programme is a set of planned learning activities (learning, teaching and assessment)*”. Berdasarkan definisi tersebut, program pembelajaran adalah serangkaian kegiatan belajar yang direncanakan (belajar, mengajar dan penilaian). Lebih lanjut, *SAQA* mengidentifikasi bagian dari program pembelajaran, yaitu: (1) kegiatan belajar yang terkait dengan hasil; (2) suatu rencana yang mengidentifikasi bagaimana pembelajaran akan disampaikan dan bagaimana peserta didik akan didukung; (3) suatu rencana penilaian; (4) media pelajaran dan sumber lainnya yang diperlukan dalam kegiatan pembelajaran; (5) praktisi terlatih dan sumber daya manusia lainnya. *Swinburne University of Technology* (2011: 1) mendefinisikan program pembelajaran sebagai berikut. *A learning program is the learning and assessment strategy used to deliver and assess a unit of competency or clustered units. Learning programs document a cohesive and integrated process for the learner. They include the learning outcomes or the learning objectives (derived from competency standards) and outline the content, sequence and structure of learning and the delivery and assessment methods to be used.* Definisi program pembelajaran adalah strategi pembelajaran dan penilaian yang digunakan untuk menyampaikan dan menilai unit kompetensi. Cakupan program pembelajaran adalah hasil belajar atau tujuan pembelajaran (berasal dari standar kompetensi) dan garis besar isi, urutan, struktur pembelajaran dan metode penyampaian dan penilaian yang akan digunakan.

Berdasarkan definisi program pembelajaran di atas, dapat disimpulkan bahwa program pembelajaran adalah rancangan atau perencanaan satu unit atau kesatuan kegiatan yang berkesinambungan dalam proses pembelajaran, yang memiliki tujuan, dan melibatkan sekelompok orang (guru dan siswa) untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Tujuan yang dimaksud adalah pencapaian hasil belajar yang berasal dari standar kompetensi.

Pada penelitian ini dikembangkan program pembelajaran materi energi terbarukan meliputi RPP, *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* pembelajaran.

2.2 Teori Konstruktivisme

Teori konstruktivisme adalah teori yang konstruktif dalam hal pembelajaran (membangun kemampuan dan pemahaman) (Stit et al., 2019). Teori konstruktivisme menurut beberapa ahli:

a. Hills, (2007)

Konstruktivisme seperti menghasilkan sesuatu dari apa yang dipelajari sehingga dapat menggunakannya untuk diterapkan di kehidupan sehingga bermanfaat bagi kemaslahatan.

b. Shymansky, (1992)

Konstruktivisme adalah aktivitas aktif siswa menciptakan pengetahuannya sendiri, menginterpretasikan apa yang telah dipelajari dan memecahkan masalah dengan ide-ide baru berdasarkan pengetahuan yang sudah ada. Berdasarkan sudut pandang para ahli, teori konstruktivisme merupakan teori yang membuat siswa aktif dengan memberikan kesempatan kepada siswa untuk menerapkan apa yang dipelajarinya dalam kehidupan sehari-hari.

Penelitian ini menggunakan teori konstruktivisme yaitu membuat siswa aktif belajar secara mandiri menggunakan *e-handout* dan *e-komik* selanjutnya memecahkan masalah keterbatasan energi melalui materi energi terbarukan yang dipelajari sehingga dapat menghasilkan (*bioethanol* dan briket) sebagai salah satu bentuk energi terbarukan serta menggunakannya sebagai bahan bakar bunsen/

bahan bakar pengganti minyak untuk memasak yang prosesnya termuat dalam *e-LKPD* lembar kerja 1.1 sampai 4.2.

2.2.1 Asumsi-asumsi konstruktivisme

Terdapat dua asumsi/pendangan mengenai konstruktivisme yaitu:

1. Siswa adalah pembelajar aktif yang mengembangkan pengetahuan untuk dirinya sendiri yang dapat diperoleh melalui latihan, eksperimen dan diskusi dengan teman sebaya untuk mengembangkan/meningkatkan pengetahuan mereka.
2. Guru membangun situasi agar siswa terlibat aktif dalam pembelajaran, menetapkan tujuan, memantau dan mengevaluasi kemajuan belajar siswa, dan melampaui standar yang dibutuhkan siswa sehingga siswa dapat mengeksplorasi topik yang diminati siswa.

pandangan ini mengemukakan bahwa lingkungan belajar sangat mendukung munculnya berbagai pandangan dan interpretasi terhadap realitas, konstruksi pengetahuan, serta aktifitas-aktifitas lain yang didasarkan pada pengalaman.

Pada penelitian ini asumsi konstruktivisme ditunjukkan pada kegiatan latihan dan diskusi yang ada di *e-handout*, eksperimen/proyek yang dipandu oleh *e-LKPD*, dimana guru memantau dan mengevaluasi kemajuan belajar siswa.

2.3 Teori *Scaffolding* Vygotsky

Menurut Vygotsky, pembelajaran dapat terjadi ketika anak belajar secara mandiri menghadapi masalah/tugas yang belum pernah dieksplorasi, dimana tugas tersebut harus berada dalam *Zone of Proximal Development (ZPD)*, yang berada tepat di atas level anak saat ini. Vygotsky percaya bahwa fungsi mental yang lebih tinggi dapat muncul melalui kerja sama dan diskusi antara siswa/masyarakat. (Deta, 2017).

Menurut Anghileri, (2006) metode *scaffolding* terbagi menjadi tiga tingkatan yaitu:

- a. Tingkat pertama terkait dengan persyaratan lingkungan.
Pada tahap ini *scaffolding* dapat diberikan dengan menawarkan lingkungan belajar yang mendukung kegiatan belajar siswa.
- b. Tingkat kedua mengacu pada penjelasan, evaluasi dan penyusunan ulang.
Penjelasan, tinjauan dan penyusunan ulang materi yang disajikan disediakan pada tingkat ini.
- c. Tingkat ketiga mengacu pada pengembangan berpikir konseptual.
Pada tahap ini, proses bertujuan untuk mengembangkan model berpikir konseptual siswa.

Sesuai dengan teori Scaffolding Vygotsky pada penelitian ini anak belajar secara mandiri menghadapi masalah keterbatasan energi yang belum pernah dieksplorasi dimana fungsi mental yang lebih tinggi dapat muncul melalui kerjasama dan diskusi antar siswa/masyarakat yang dalam hal ini melibatkan karyawan Pabrik PG Bunga Mayang dan guru kimia sebagai narasumber wawancara yang dipandu melalui *e-handout* dan *e-LKPD*.

2.4 Teori Pembelajaran Kognitif

Teori belajar kognitif adalah teori yang menggambarkan bahwa belajar terdiri dari beberapa proses, seperti analisis, mengolah informasi, prediksi, dan *problem solving*. Dengan teori ini siswa diharuskan untuk menjadi seorang yang inovatif, kreatif, dan juga mandiri dalam mempelajari suatu hal. Teori ini memiliki kelebihan seperti membuat proses belajar menjadi lebih mandiri. Dengan menerapkan teori ini siswa dapat lebih mudah untuk menjalankan proses belajar dan menyelesaikan permasalahan yang akan datang.

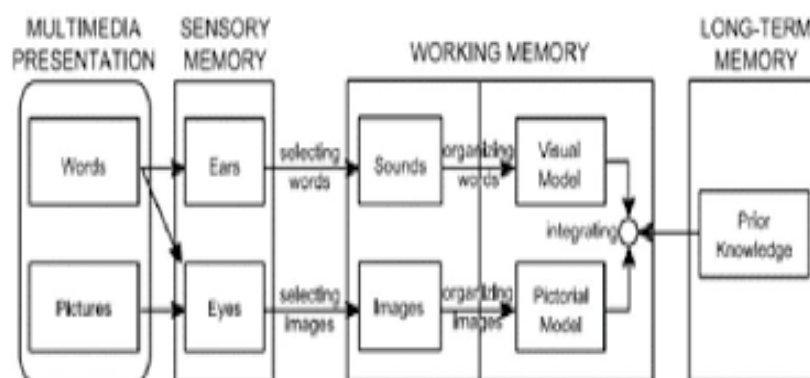
Pada penelitian ini siswa dituntut secara mandiri mempelajari materi energi terbarukan melalui *e-handout* dan *e-Komik*, serta menggunakan *e-LKPD* sebagai

panduan membuat energi terbarukan sebagai salah satu upaya dalam mengatasi masalah keterbatasan sumber energi dimasa mendatang.

2.5 Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia

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).

Penggunaan multimedia dalam proses pembelajaran bertujuan untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa, meningkatkan motivasi belajar siswa dan menciptakan proses pembelajaran yang lebih bermakna. Pembelajaran yang bermakna didefinisikan sebagai pemahaman yang mendalam mengenai suatu materi, proses pengaturan mental yang dikaitkan secara masuk akal dengan struktur kognitif dan menghubungkan pengetahuan baru dengan pengetahuan yang sudah ada. Pembelajaran bermakna menggambarkan kemampuan seseorang untuk menerapkan pengetahuan yang sudah diketahui pada situasi dan kondisi yang nyata, baru dan berbeda (Mayer dan Moreno, 2003), seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Pembelajaran Multimedia (Mayer dan Moreno, 2003)

Pada penelitian ini pengembangan program pembelajaran berupa *e-handout* perancangannya menggunakan prinsip multimedia yaitu menyampaikan informasi/ materi pembelajaran dengan teks, gambar/ grafik, dan video.

2.6 Teori Eksternal *Multiple Representations*

Multiple representations merupakan sebuah strategi yang merepresentasikan konsep yang sama, namun menggunakan berbagai macam format yang berbeda untuk saling melengkapi (Lusiyana *et al.*, 2019). Format yang digunakan dapat dalam bentuk kombinasi antara teks, gambar animasi, tabel, grafik, verbal, notasi aljabar, dan persamaan matematika (Ainsworth, 1999). Kombinasi format ini bertujuan untuk membantu siswa dalam memahami konsep yang sedang dipelajari (Sutriani & Mansyur, 2021). Penggunaan *multiple representations* dalam kegiatan pembelajaran sangat dibutuhkan, khususnya untuk mempelajari konsep-konsep yang cukup abstrak, seperti di berbagai mata pelajaran berbasis hitungan seperti Matematika maupun Fisika (Lusiyana *et al.*, 2019).

Menurut Ainsworth (1999), terdapat tiga fungsi utama *multiple representations*, yaitu: memberikan kelengkapan informasi (*complementary information*), mendorong terbentuknya pemahaman yang lebih dalam bagi siswa, menghindari kemungkinan adanya misinterpretasi dari sebuah konsep. Dengan demikian, sebuah pengembangan program pembelajaran yang menerapkan pendekatan *multiple representations* harus memenuhi beberapa indikator agar tujuannya dapat tercapai, yaitu: a) terdapat representasi dalam berbagai bentuk dan format yang tepat dengan konsep yang akan diajarkan, b) kombinasi format dapat memberikan kelengkapan informasi dari konsep yang diajarkan, c) kombinasi format memberikan kemudahan siswa dalam memahami konsep yang diajarkan, d) kombinasi format tidak salah menginterpretasikan konsep yang diajarkan.

Para peneliti secara luas setuju bahwa disiplin ilmu harus dipahami secara historis sebagai pengembangan dan integrasi wacana multi-modal ((Jewitt *et al.*,

2001);(Waldrip et al., 2010)), di mana bentuk yang berbeda memenuhi kebutuhan yang berbeda dalam kaitannya dengan penalaran dan pencatatan penyelidikan ilmiah. Dengan cara ini, mode matematis, verbal dan grafik telah digunakan secara personal dalam cara yang terkoordinasi untuk mendiskusikan dan merekam penelitian ilmiah. Dengan demikian, bentuk matematis, verbal, dan grafis digunakan dalam koordinasi pribadi untuk mewakili persyaratan pengetahuan wacana ilmiah, dan presentasi ilmiah yang dimediasi teknologi. Ada sedikit konsensus tentang praktik pengajaran dan pembelajaran mana yang memaksimalkan kesempatan belajar untuk pelajar yang berbeda.(Waldrip *et al.*, 2010). Giere & Moffatt, (2003) merekomendasikan bahwa siswa harus belajar menggunakan representasi ilmiah sebagai alat berpikir untuk prediksi dan pemahaman dan membuat klaim, daripada menghafal representasi "benar" untuk tampilan pengetahuan. Ini menyiratkan bahwa siswa cenderung belajar lebih efektif dalam sains ketika mereka melihat kesesuaian konvensi representasional yang digunakan dalam mata pelajaran ini, dan juga ketika mereka mengenali sifat persuasif dari penjelasan ilmiah tertentu. Setiap kerangka modal (seperti konvensi dan hasil dalam tabel atau grafik) memberikan kesempatan bagi peserta didik untuk memetakan hubungan ini dan mengatur pemahaman mereka tentang makna ilmiah yang diklaim untuk atribut atau proses yang terkait dengan objek. Menggunakan dan mengintegrasikan beberapa mode sehingga memfasilitasi pembelajaran, di mana pembelajaran ini dipahami sebagai pengakuan/ pemetaan hubungan antara konsep sains, representasi dan pengalaman perseptual.

Mendukung pandangan ini, Ford, (2008) berpendapat bahwa dimensi utama pembelajaran dalam sains mengharuskan siswa mengetahui bagaimana membuat klaim yang memadai dalam mata pelajaran, di mana kecukupan dinilai oleh seberapa baik siswa mengetahui bagaimana menggunakan alat representasi khusus untuk mata pelajaran secara umum dan khusus untuk penalaran dan penyelidikan dalam topik tertentu. Misalnya siswa harus tahu kapan dan mengapa grafik batang daripada grafik garis merupakan representasi yang tepat untuk memperjelas pola atau membuat klaim, atau apakah grafik memberikan informasi yang berbeda dari tabel dengan orientasi luas untuk sains sebagai praktik pembuatan klaim

disarankan bahwa karya representasional dimana siswa belajar bagaimana berpartisipasi dalam praktik ini perlu kaya beragam, terutama untuk pelajar yang lebih muda, dan mencakup berbagai peluang dan mode representasional. Selanjutnya siswa dapat mewakili pemahaman mereka dalam mode yang beragam, maka pengetahuan mereka mungkin cukup kuat atau tahan lama. (Waldrip *et al.*, 2010).

Waldrip *et al.* (2010) mengusulkan kerangka *IF-SO* yang berfokus pada isu-isu kunci dalam perencanaan topik (*I* dan *F*), dan peran guru dan siswa dalam pembelajaran melalui urutan representasi penyempurnaan selama pengembangan topik (*S* dan *O*). Adapun penjelasan kerangka tersebut sebagai berikut.

I: *Identify key concepts* (mengidentifikasi konsep-konsep kunci).

Guru harus mengidentifikasi konsep utama atau gagasan besar suatu mata pelajaran dalam tahap perencanaan, mengantisipasi berbagai presentasi guru-siswa yang akan melibatkan siswa, memperluas pemahaman pengetahuan mereka, dan dilihat sebagai bukti pembelajaran dalam berbagai aspek pembelajaran. Guru juga perlu mempertimbangkan baik urutan tantangan representasional yang ditimbulkan oleh topik, serta jenis tugas representasional ringkasan yang akan memungkinkan siswa untuk memperkuat pemahaman konseptual mereka pada akhir topik.

F: *Focus on form and function* (Fokus pada bentuk dan fungsi).

Guru harus fokus pada fungsi dan bentuk dari representasi yang berbeda. Jika representasi tertentu diperlukan untuk objek, mungkin perlu dijelaskan, diperkenalkan dan diklarifikasi di awal topik. Ketika berhadapan dengan representasi baru, siswa perlu belajar lebih banyak tentang fungsi atau tujuannya, dan bagaimana fungsi tersebut diimplementasikan dalam bentuk atau bagiannya. Misalnya, ketika berhadapan dengan grafik, siswa harus diminta untuk memikirkan mengapa grafik digunakan dalam sains, serta mengidentifikasi elemen dan fungsi kunci, seperti tujuan masing-masing sumbu untuk menyiapkan model data untuk interpretasi. Dengan cara ini, guru dapat membimbing siswa

untuk mempelajari instrumen ilmiah tentang jenis representasi dan kemungkinan tujuannya sebagai alat untuk partisipasi kausal, penalaran, penjelasan, dan prediksi fenomena. Siswa juga harus memahami keterbatasan representasi tertentu untuk mengatasi hanya aspek-aspek tertentu dari fenomena target.

S: *Sequence* (urutan).

Siswa perlu menghadapi serangkaian tantangan representatif, menghasilkan pernyataan sebab akibat dari fenomena, memungkinkan mereka untuk mengeksplorasi dan menafsirkan ide-ide mereka, dan memperluasnya ke dalam situasi baru dan memungkinkan mereka untuk mengintegrasikan penampilan mereka ke dalam akun sumatif yang bermakna dari topik. Siswa juga perlu mengetahui bahwa representasi yang berbeda berfokus pada aspek yang berbeda dari topik dan dengan demikian melayani tujuan yang berbeda.

S: *student representation* (representasi siswa).

Siswa harus diberi kesempatan untuk merepresentasikan ulang pernyataan mereka untuk mengembangkan dan mendemonstrasikan pembelajaran. Mereka harus ditantang dan didukung dalam mengkoordinasikan representasi sebagai sarana untuk menunjukkan pemahaman yang koheren, dapat dipertahankan, dan fleksibel. Siswa harus aktif dan eksploratif dalam menciptakan, memanipulasi, dan menyempurnakan representasi. Ketika mencoba untuk mendemonstrasikan kompleksitas pernyataan, siswa membutuhkan kesempatan untuk mengartikulasikan dan memperluas sumber daya dan pilihan mereka untuk representasi, dan mengintegrasikan berbagai mode representasi untuk menunjukkan pemahaman konseptual mereka.

S: *student interest* (minat siswa).

Urutan kegiatan harus fokus pada pembelajaran yang bermakna dengan mempertimbangkan minat siswa, nilai preferensi estetika, dan sejarah pribadi.

S: *student perceptions* (persepsi siswa).

Urutan aktivitas harus memiliki konteks persepsi yang kokoh sehingga memungkinkan siswa menggunakan petunjuk persepsi untuk membuat hubungan antara beberapa aspek objek dan representasi penjelas pernyataan. Hal ini tidak dimaksudkan untuk menyatakan bahwa semua pembangunan teori atau pengetahuan konseptual didasarkan persepsi, melainkan bahwa beberapa pembelajaran konseptual dalam sains dapat ditingkatkan dengan berfokus pada pemahaman siswa yang bermakna.

O: *Ongoing assessment* (penilaian berkelanjutan).

Guru harus memandang kinerja siswa, termasuk laporan verbal dari topik, sebagai penghargaan terhadap pemikiran siswa yang berkembang dan sebagai bagian dari bukti pembelajaran siswa. Penilaian ini dapat bersifat diagnostik, formatif atau sumatif, dengan berbagai indikator untuk menunjukkan pengetahuan konseptual siswa dan kemampuan untuk mentransfer pemahaman mereka ke konteks dan masalah baru.

O: *Opportunities for negotiation* (peluang untuk negosiasi).

Harus ada kesempatan untuk negosiasi antara pemahaman guru dan siswa tentang makna representasi yang dimaksudkan. Siswa harus didorong untuk membuat penilaian sendiri tentang kesesuaian representasi mereka.

O: *On-time* (tepat waktu).

Siswa harus berpartisipasi dalam klarifikasi tepat waktu bagian dan tujuan dari representasi yang berbeda. Siswa membutuhkan kesempatan untuk membandingkan konvensi dan improvisasi yang mereka gunakan untuk membuat klaim tentang topik yang dibuat melalui konvensi representasional yang "diotorisasi". Memahami alasan penggunaan representasi ilmiah, seperti grafik dan diagram, memungkinkan siswa untuk memahami dan mengkomunikasikan pernyataan dengan lebih jelas, dan untuk memahami mengapa representasi tertentu, sering tertanam dalam teks pelengkap, digunakan untuk tujuan yang berbeda, dan untuk membuat klaim tentang berbagai aspek topik.

Multiple representations dalam penelitian ini yaitu penyampaian materi energi terbarukan dalam berbagai bentuk seperti *e-handout* dengan kerangka *IF- SO*, komik dengan bahasa sehari-hari, dan *e-LKPD*. Selain itu di dalam *e-handout* materi energi terbarukan disajikan dengan berbagai format yang berbeda seperti video, teks, gambar, tabel, dan grafik sehingga saling melengkapi dan membantu siswa memahami konsep energi terbarukan.

Multiple representations dalam penelitian ini juga dapat diamati dari penggunaan ppt, canva, grafik, tabel, dan poster saat siswa mempresentasikan hasil diskusinya tentang materi energi terbarukan.

2.7 Pendekatan *STEM* (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*)

Berdasarkan literatur, terdapat dua konsep utama penggunaan *STEM* atau *Science, Technology, Engineering, Mathematics* dalam penelitian, yaitu yang pertama, *STEM* sebagai sebuah pendekatan pembelajaran atau *pedagogy STEM* (Yulia *et al.*, 2021) yang berperan dalam proses pembelajaran. Konsep kedua, *STEM* berperan sebagai sebuah *skill* yang menjadi target atau *output* kegiatan pembelajaran (Gagnier *et al.*, 2021; Sorby *et al.*, 2018). Dalam penelitian ini, *STEM* mengacu pada pendekatan pembelajaran yang berperan dalam proses kegiatan pembelajaran.

Pendekatan *STEM* merupakan sebuah pendekatan dalam pembelajaran yang mengintegrasikan beberapa disiplin ilmu yaitu ilmu IPA, Teknologi, Teknik, dan Matematika (Yulia *et al.*, 2021). Pendekatan *STEM* cukup banyak diadopsi di berbagai kegiatan pembelajaran di Indonesia. Pendekatan *STEM* dikembangkan dengan mengasosiasikan konsep yang diajarkan dengan permasalahan dalam dunia nyata yang berkaitan dengan lingkungan yang pernah dialami siswa (Pratiwi *et al.*, 2021). Tujuannya adalah agar konsep yang diajarkan dapat lebih mudah dipahami siswa karena familiar dengan permasalahan atau fenomena yang digunakan untuk menjelaskan konsep tersebut. Dengan mengasosiasikan

permasalahan nyata yang relevan dengan kehidupan siswa, diharapkan siswa akan lebih mudah memahami dan mengoperasionalisasi konsep yang diajarkan guru.

Salah satu unsur dalam *STEM* adalah teknologi yang merupakan unsur yang paling menonjol saat ini, terlebih pada masa dimana perkembangan teknologi semakin berkembang pesat dikarenakan terobosan-terobosan baru dalam dunia teknologi dan juga situasi *pandemic covid 19* yang memaksa seluruh aspek kehidupan beradaptasi. Oleh karena itu, dalam dunia pembelajaran pun, perlu ada penyesuaian termasuk dalam pengembangan program pembelajaran dengan memanfaatkan teknologi. Pengembangan program pembelajaran dalam bentuk digital menjadi semakin penting dilakukan untuk memenuhi kebutuhan kegiatan pembelajaran yang juga perlu beradaptasi agar kegiatan pembelajaran dapat berjalan efektif dan efisien. Implementasi *STEM* dalam proses pembelajaran dengan mengintegrasikan antara teknologi, konsep-konsep dasar mata pelajaran dan juga permasalahan nyata yang relevan terhadap konsep pembelajaran sangat penting dilakukan. Hal ini diperkuat dengan studi *literature review* yang menyimpulkan bahwa mengimplementasikan teknologi atau *ICT* dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep materi pelajaran khususnya Fisika (Lusiyana *et al.*, 2019).

Pendekatan *STEM* dalam penelitian ini mengasosiasikan konsep energi terbarukan dengan permasalahan dunia nyata yaitu keterbatasan energi dengan memperhatikan kearifan lokal disekitar sekolah, penggunaan teknologi/ reaksi kimia proses pembentukan *bioethanol*, merancang komposisi bahan pembuatan *bioethanol/* briket, mengujicoba *bioethanol/*briket, serta mengukur kadar *bioethanol*.

2.8 *Multiple representations* terintegrasi *STEM*

Multiple representations memainkan peranan penting dalam meningkatkan *STEM* (Rau, 2016). Siswa dihadapkan pada materi pembelajaran yang sangat abstrak seperti fisika dengan pendekatan sehingga guru/penulis buku sering menggunakan

representasi tambahan seperti teks eksplanasi/ contoh, diagram, dan gambar untuk membuat konten lebih mudah dipahami (Meter *et al.*, 2020). Penambahan gambar yang lebih intuitif ini dikuatkan prinsip multimedia mayer (2009) yang menyatakan bahwa menggunakan teks dan gambar lebih unggul dari penggunaan teks saja.

Menurut teori pembelajaran multimedia pembelajaran siswa *dengan multiple representations* mengharuskan siswa memiliki pemahaman visual yang menggambarkan informasi konsep yang relevan dengan domain (Ainsworth, 2006 ; Mayer, 2014) , dan menurut teori pembelajaran multimedia serta teori pembelajaran kognitif, representasi visual membantu siswa belajar karena mereka membuat konsep abstrak dapat diakses (Schnotz, 2014), selanjutnya *multiple representations* memberikan informasi pelengkap (Ainsworth, 2006) akibatnya siswa dapat membangun pengetahuannya. Sedangkan menurut Kaniawati dkk (2015) pengintegrasian *STEM* dalam pembelajaran dapat meningkatkan keaktifan dan kreativitas siswa yang cukup tinggi dan siswa dapat memahami konsep dengan baik. Pembelajaran yang mengintegrasikan *STEM* menuntut siswa untuk menganalisis rekayasa dari sebuah teknologi dengan menggunakan berbagai representasi sehingga siswa akan memahami konsep dengan baik dan terbiasa menggunakan berbagai representasi yang berimplikasi pada peningkatan *multiple representations* siswa.

Dengan demikian pada penelitian ini teori pembelajaran multimedia sejalan dengan teori pembelajaran kognitif sejalan dengan *multiple representations* dan meningkatkan pembelajaran *STEM*, karena dalam pendekatan *STEM* dapat menggunakan *multiple representations* untuk melengkapi konsep sehingga siswa lebih mudah belajar. Aktifitas *multiple representations* terjadi pada saat siswa menggunakan *e-handout* dengan kerangka *IF-SO* dan presentasi siswa menggunakan tabel, diagram, dan grafik sedangkan aktifitas *STEM* nampak dari kegiatan mengasosiasikan permasalahan dengan potensi lokal (dunia nyata) sampai dengan perancangan produk (*bioethanol*).

2.9 Education for Sustainable Development (ESD)

Konsep pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan merupakan wujud nyata dari pedagogi untuk konsep pembangunan berkelanjutan. Pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan (*ESD*) memberdayakan setiap orang untuk menentukan keputusan demi integritas lingkungan, kelayakan ekonomi, dan terciptanya masyarakat yang adil. Sejak didirikan oleh *World Commission on Economic Development* dalam laporan Brundtland pada tahun 1987, konsep pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan telah diterapkan di beberapa negara, antara lain Jepang, Kanada, Australia, Malaysia, China, Jerman, Amerika Serikat, Kerajaan Thailand, India, dan sebagian besar negara lain. Konsep pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan dimulai dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang membahas tiga topik utama, yaitu lingkungan, sosial dan ekonomi berkelanjutan. UNESCO merekomendasikan agar konsep pembangunan berkelanjutan dipelajari dalam proses pembelajaran dengan beberapa strategi pembelajaran, antara lain *experiential learning*, *project-based learning*, *inquiry learning*, *story-based learning*, *value-based education*, penilaian otentik, pembelajaran berbasis masalah, pembelajaran di luar kelas, dan komunitas pemecahan masalah (Amran *et al.*, 2020).

Implementasi *ESD* telah terbukti secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi pemahaman keberlanjutan individu, kesadaran keberlanjutan, dan sikap terkait *SD* (Garrecht *et al.*, 2018).

Konsep pendidikan berkelanjutan (*ESD*) dalam penelitian ini yaitu pembuatan *bioethanol* dari limbah tetes tebu (memanfaatkan lingkungan sekitar) melalui kegiatan *PjBL* sehingga siswa merasa perlu membuat energi terbarukan (*bioethanol*) yang dapat digunakan sebagai sumber energi bersih dan dapat dijual (kelayakan ekonomi) sehingga siswa mampu membuat energi terbarukan dan dapat berpartisipasi dalam mengatasi keterbatasan energi serta memiliki sikap menghemat energi.

2.10 STEM for Sustainability Literacy Siswa

Pengalaman belajar *STEM* berkontribusi pada literasi berkelanjutan (*Sustainability Literacy*). Temuan menunjukkan bahwa kursus/ pelatihan memberikan pengalaman transformatif yang secara positif memprediksi:

1. Sikap terhadap lingkungan
2. Kompetensi profesional yang dimiliki setelah lulus
3. Perasaan mampu secara pribadi yang mempengaruhi sikap berkelanjutan (*sustainability attitudes*) (Probst *et al.*, 2019).

Oleh karena itu, pendidikan memegang peranan penting dalam hal ini dimana sumber energi terbarukan dan langkah-langkah efisiensi energi dipandang sebagai sumber daya untuk meningkatkan kondisi kehidupan penduduk dan isu-isu lingkungan serta strategi pembangunan lokal dan regional, dimana masyarakat khususnya generasi muda merupakan elemen penting dari proses awal implementasi energi terbarukan. Pada penelitian ini pada akhir pembelajaran nampak siswa memiliki sikap menghemat energi dengan mematikan lampu saat tidak digunakan, berjalan kaki untuk jarak yang dekat, dapat membuat *bioethanol*.

2.11 Keterampilan Berpikir Spasial

Pada penelitian ini telah dilakukan pengembangan program pembelajaran yang melatih keterampilan berpikir spasial. Keterampilan berpikir spasial merupakan sekumpulan kemampuan yang bersifat kognitif yang memungkinkan seseorang mengelola, memahami, memanipulasi ruang secara mental antara nyata dan imajinasi (Gagnier *et al.*, 2021). Hal ini menurut Gagnier., dkk (Gagnier *et al.*, 2021), dapat diwujudkan melalui pemahaman siswa dalam memahami bentuk, ukuran, orientasi arah, hubungan antar objek, visualisasi objek, dan lain-lain. Kemampuan ini sangat di butuhkan dalam kehidupan sehari-hari dimana seseorang menggunakan representasi sebuah ruang sebagai sebuah arah navigasi atau peta (Gagnier *et al.*, 2021). Newcombe juga menyatakan bahwa berbagai pemikiran ilmiah bersifat spasial. Bahkan informasi non-spasial sering pula

dikomunikasikan menggunakan pendekatan spasial, seperti dalam bentuk peta, diagram, grafik dan lain-lain (Newcombe, 2017).

Tidak hanya dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, keterampilan berpikir spasial sangat penting dimiliki siswa untuk memudahkan dalam mempelajari mata pelajaran terkait *STEM*, termasuk Fisika (DeSutter & Stieff, 2017). Sangat banyak konsep-konsep dalam mata pelajaran Fisika yang bersifat abstrak dan imajinasi, sehingga mempersulit siswa dalam memahami konsepnya. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan siswa dalam memahami konsep yang diajarkan guru di sekolah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa keterampilan berpikir spasial sangat penting ditumbuhkan dalam kegiatan pembelajaran di kelas agar siswa dapat memahami dan mengelola informasi, baik secara nyata maupun imajinasi. Keterampilan berpikir spasial dalam penelitian ini dapat dilatihkan melalui *multiple representations* dan nampak dari kegiatan siswa dalam membuat dan mempresentasikan poster yang mereka buat dengan susunan gambar dan tulisan yang baik serta menggunakan grafik, tabel, dan lain-lain, selain itu siswa dapat mengetahui ukuran yang tepat dalam membuat energi terbarukan (*bioethanol/ briket*).

2.12 Project Based Learning

Penelitian ini menggunakan *project based learning* yaitu model pembelajaran berbasis proyek yang berpusat pada siswa dan memberikan siswa pembelajaran yang bermakna. Pengalaman dan konsep belajar siswa dibangun berdasarkan produk yang dihasilkan dalam pembelajaran berbasis proyek. Sementara itu, menurut Lucas (2005) *PjBL* merupakan pendekatan pembelajaran yang dinamis dimana siswa secara aktif mengeksplorasi masalah dunia nyata, menantang dan memperoleh pengetahuan yang lebih dalam. (Afriana, 2015). Pelaksanaan pembelajaran proyek (*PjBL*) dalam pendidikan IPA dapat meningkatkan hasil belajar kognitif, membentuk sikap dan perilaku ramah lingkungan, keterampilan proses ilmiah dan pembelajaran yang efektif berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Prakarsa, 2015.). Untuk mengimbangi tantangan era globalisasi ini,

diperlukan pembelajaran terintegrasi *STEM* selain pembelajaran berbasis proyek. dengan demikian, *PjBL* yang terintegrasi dengan *STEM* dibahas dan dimasukkan dalam RPP.

2.12.1 Tahapan pembelajaran *PjBL*

Tahapan pembelajaran *PjBL* dikembangkan oleh dua ahli, Lucas dan Doppet.

Sintaks *PjBL* menurut Lucas yaitu: (Budiharti & Aristiyaningsih, 2016)

1. Fase 1: Penentuan pertanyaan mendasar (*start with essential question*)

Pembelajaran diawali dengan pertanyaan yang relevan, yaitu pertanyaan yang dapat memotivasi siswa untuk melakukan tindakan. Pertanyaan disusun dengan mengambil topik yang sesuai dengan realita yang sebenarnya dan diawali dengan riset yang mendalam. Pertanyaan terstruktur seharusnya tidak mudah dijawab dan dapat mengarahkan siswa ke proyek. Pertanyaan-pertanyaan seperti itu biasanya bersifat terbuka (divergen), provokatif, menantang, berjiwa besar, dan berkaitan dengan kehidupan siswa. Guru mencoba membuat topik yang diusulkan penting bagi siswa.

2. Fase 2: Menyusun perencanaan proyek (*design project*)

Perencanaan dilakukan dengan kerjasama antara guru dan siswa. Dengan demikian, siswa diharapkan merasa memiliki proyek tersebut. Perancangan meliputi aturan main, pemilihan kegiatan yang dapat mendukung menjawab pertanyaan penting, integrasi berbagai kemungkinan bahan dan mengetahui alat dan bahan yang membantu dalam pelaksanaan proyek.

3. Fase 3: Menyusun jadwal (*create schedule*)

Guru dan siswa menyepakati jadwal kegiatan untuk menyelesaikan proyek. Kegiatan dalam fase ini antara lain: (1) membuat jadwal penyelesaian proyek, (2) menetapkan waktu penyelesaian proyek akhir, (3) melatih siswa mengembangkan kebiasaan baru, (4) membimbing siswa ketika mereka membuat cara yang tidak berhubungan dengan proyek, dan (5) meminta siswa menjelaskan alasan cara

pemilihan waktu. Jadwal harus disepakati bersama agar guru dapat memantau kemajuan pembelajaran dan mengerjakan proyek di luar kelas.

4. Fase 4: Memantau siswa dan kemajuan proyek (*monitoring the students and progress of project*)

Guru bertanggung jawab untuk memantau kegiatan siswa selama penyelesaian proyek. Pemantauan dilakukan dengan cara memfasilitasi siswa pada setiap proses. Dengan kata lain, guru berperan sebagai pembimbing dalam kegiatan siswa. Untuk mempermudah proses pemantauan, dibuat rubrik di mana semua tindakan penting dapat direkam.

5. Fase 5: Penilaian hasil (*assess the outcome*)

Penilaian dilakukan untuk membantu guru dalam mengukur ketercapaian standar kompetensi, berpartisipasi dalam evaluasi kemajuan setiap siswa, memberikan umpan balik terhadap tingkat pemahaman yang dicapai siswa, membantu guru untuk menyusun strategi pembelajaran selanjutnya.

6. Fase 6: Evaluasi Pengalaman (*evaluation the experience*)

Di akhir proses pembelajaran, guru dan siswa melakukan refleksi terhadap kegiatan dan hasil proyek yang sudah direalisasikan. Proses refleksi dilakukan baik secara individu maupun kelompok. Pada fase ini siswa diminta untuk mengungkapkan perasaan dan pengalamannya selama menyelesaikan proyek. Guru dan siswa mengembangkan diskusi untuk meningkatkan kinerja selama pembelajaran, sehingga akhirnya ditemukan suatu temuan baru (*new inquiry*) untuk menjawab permasalahan yang muncul pada fase pertama pembelajaran.

Sintaks *PjBL* Lucas dalam penelitian ini terlihat dari kegiatan pembelajaran yang terdapat pada rencana pelaksanaan pembelajaran energi terbarukan yang dilakukan oleh peneliti.

2.13 *PjBL STEM*

PjBL STEM adalah pembelajaran berbasis proyek dengan pendekatan *STEM*. Untuk menumbuhkan keterampilan berpikir kreatif, peserta didik harus diberikan kesempatan untuk mengembangkan kreativitas dengan berkarya sebanyak-banyaknya dalam pembelajaran. Salah satu model pembelajaran yang mampu memberikan peluang sebesar-besarnya untuk peserta didik dapat mengeksplorasi kreativitasnya yaitu pembelajaran *PjBL (Project Based Learning)*. Dan salah satu cara untuk memecahkan permasalahan pembelajaran yang telah dipaparkan diatas yaitu dengan pendekatan *STEM (Science, Technology, Engingeering, Mathematics)*. *STEM* cocok untuk kreativitas, karena pada proses *engineering* ini adalah proses melatih kreativitas. Dalam *PJBL STEM* siswa diajak untuk melakukan pembelajaran yang bermakna dalam memahami sebuah konsep. Siswa diajak bereksplorasi melalui sebuah kegiatan proyek, sehingga siswa terlibat aktif dalam prosesnya. Hal ini menumbuhkan siswa untuk berpikir kritis, kreatif, analitis (Capraro & Slough, 2013). *PjBL STEM* membutuhkan kerjasama, komunikasi antar rekan, keterampilan pemecahan masalah, serta manajemen diri. *PjBL STEM* membantu siswa dalam menjembatani antara pengetahuan yang dipelajari di sekolah dengan dunia nyata. Integrasi antara beberapa bidang ilmu (matematika dengan pengetahuan, teknologi dan rekayasa) dalam *PjBL STEM* membantu siswa memberikan pemaknaan bahwa satu bidang ilmu berhubungan erat dengan bidang ilmu lainnya.

Pada penelitian ini *PjBL STEM* yaitu proyek pembuatan bioethanol secara berkelompok oleh siswa dengan memanfaatkan materi energi terbarukan yang dipelajari di sekolah dan mengkaitkannya dengan keraifan lokal yang ada di sekitar sekolah berupa limbah tetes tebu untuk pembuatan *bioethanol*, dan sampah daun kering untuk pembuatan briket sebagai energi alternatif atau energi terbarukan yang bersih dan terjangkau dalam mengatasi permasalahan global dan sejalan dengan *SDGs*.

2.14 Validitas, Praktikalitas dan Efektifitas Program Pembelajaran

Penelitian pengembangan didefinisikan sebagai pengkajian yang sistematis dalam pendesainan, pengembangan dan pengevaluasian program, proses, dan produk pengajaran yang harus memenuhi kriteria validitas, praktikalitas dan efektivitas (Akker, 1999).

Menurut Akker (1999) validitas perangkat pembelajaran yaitu: *“validity refers to the extent that design of the intervention is based on state-of-the art knowledge (“content validity”) and that the various components of the intervention are consistently linked to each other (“construct validity”)* yang dapat diartikan sebagai validitas dalam suatu penelitian pengembangan meliputi validitas isi dan validitas konstruk, sedangkan kriteria valid menurut (Nieveen, 1999) yaitu aspek validitas dapat dilihat dari: (1) apakah kurikulum atau model pembelajaran yang dikembangkan berdasar pada *state-of-the art* pengetahuan (validitas isi); dan (2) apakah berbagai komponen dari perangkat pembelajaran terkait secara konsisten antara yang satu dengan lainnya (validitas konstruk).

Selain validitas kriteria selanjutnya adalah praktikalitas, praktikalitas menurut Nieveen (1999) yaitu bahwa *Product development is said to be practical if the product is easy for students or teachers to run and is broader than student textbooks* bahwa suatu produk yang telah dikembangkan dikatakan praktis jika mudah digunakan oleh siswa/guru lebih baik dibandingkan buku teks siswa.

Selain itu Akker (1999) juga menyatakan bahwa: *“practically refers to the extent that user (or other experts) consider the intervention as appealing and usable in “normal conditions”*. Kepraktisan mengacu pada tingkat bahwa pengguna (atau pakar-pakar lainnya) memperimbangkan intervensi dapat digunakan dan disukai dalam kondisi normal, dan kriteria yang ketiga yaitu efektifitas, menurut Akker (1999): *“Effectiveness refer to the extend that the experiences and outcomes with the intervention are consistent with the intended aims”* yang artinya acuan keefektifan adalah pada peningkatan pengalaman dan hasil dari intervensi yang konsisten dengan tujuan yang dimaksud.

Berdasarkan kriteria penelitian pengembangan diatas, program pembelajaran yang dikembangkan dalam penelitian ini harus memiliki validitas, praktikalitas dan efektifitas yang baik dalam penggunaan/ implementasinya.

2.15 Penelitian Terdahulu dan *Research Gaps*

Tabel berikut ini menyajikan penelitian terdahulu mengenai pembelajaran topik energi terbarukan yang pernah dilakukan serta *research gap* penelitian yang dilakukan oleh peneliti.

Peneliti	Memfaatkan kearifan lokal /lingkungan sekitar	MRS	Model	Pengembangan	Pendekatan	Output
Azzahra et al (2022)	-	-	-	e-modul	SETS	Aspek Kognitif
Desnita (2015)	Iya	-	-	Kurikulum berbasis lingkungan	-	-
Dinantika et al (2019)	-	-	PjBL	-	-	Kreativitas siswa
Nugroho et al (2019)	Iya	-	-	Tidak ada sebatas literatur <i>review</i>	STEM	Literasi <i>Sustainability</i>
Putri et al (2019)	-	-	PjBL	-	-	Hasil belajar siswa
Deni Angraini (2022)	Iya	Iya	PjBL	Program pembelajaran (Rpp, e-handout, e-LKPD, Komik)	STEM	Hasil belajar siswa, keterampilan berpikir spasial, literasi <i>sustainability</i> , (<i>bioethanol</i> /briket)

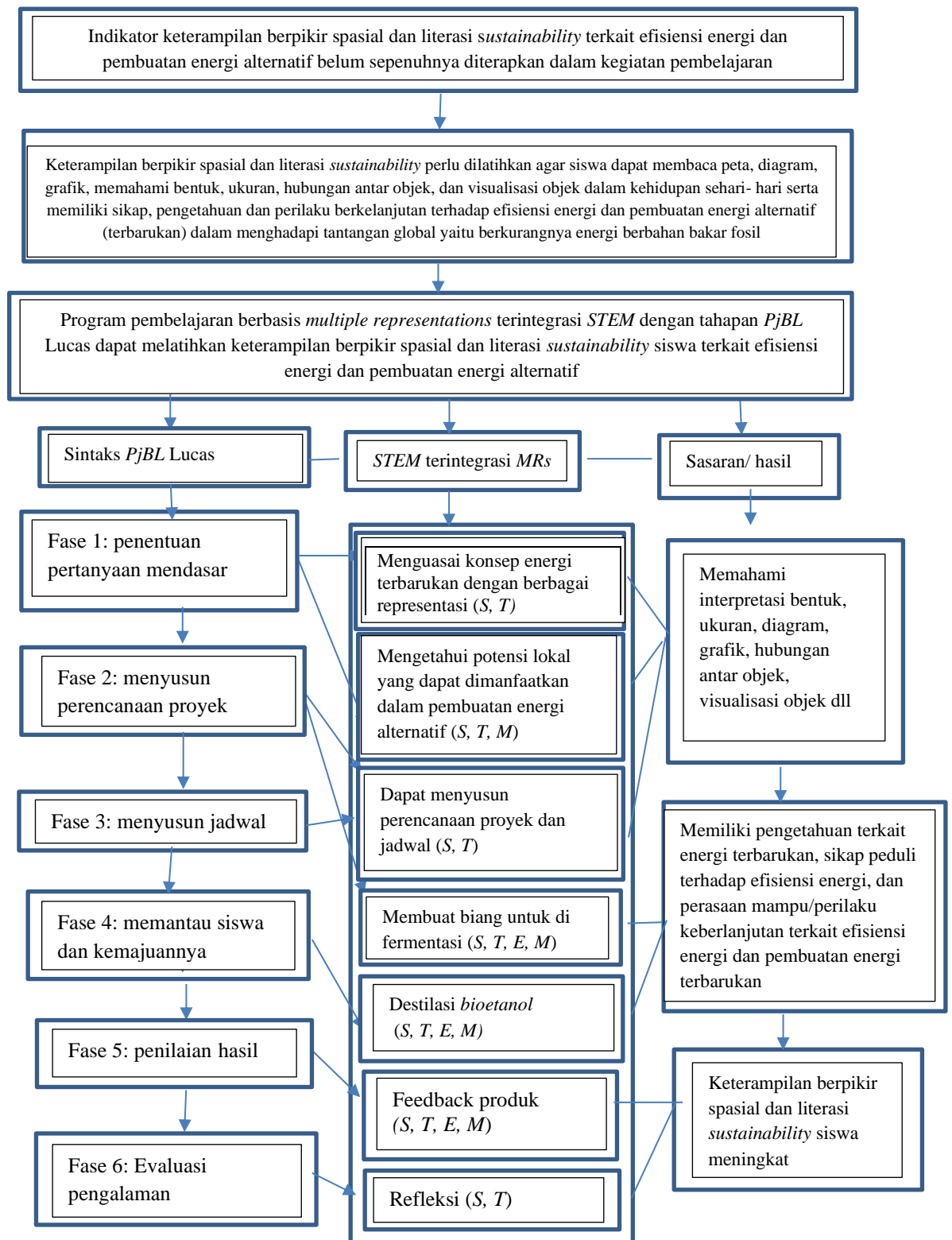
2.16. Kerangka Pemikiran

Indikator keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* terkait efisiensi energi dan pembuatan energi alternatif belum sepenuhnya diterapkan dalam kegiatan pembelajaran di Indonesia, padahal banyak pemikiran ilmiah bahkan informasi non spasial dikomunikasikan menggunakan peta, diagram, grafik, dan tabel selain itu di negara-negara maju sikap, pengetahuan dan perilaku terkait

efisiensi energi dan pembuatan energi (literasi *sustainability*) mulai dimasukkan dalam kurikulum sekolah. Sehingga keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* perlu dilatihkan agar siswa dapat membaca peta, diagram, grafik, memahami bentuk, ukuran, hubungan antar objek dalam kehidupan sehari-hari serta memiliki sikap, pengetahuan dan perilaku berkelanjutan terhadap efisiensi energi dan pembuatan energi alternatif (terbarukan) dalam menghadapi tantangan global yaitu berkurangnya energi berbahan bakar fosil. Dalam hal ini dikembangkan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* dengan tahapan *PjBL* Lucas agar dapat melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa terkait efisiensi energi dan pembuatan energi alternatif.

Program pembelajaran yang dikembangkan berupa *e-handout dengan kerangka IF SO*, *e-LKPD* terintegrasi *PjBL STEM* dengan memperhatikan kearifan lokal disekitar sekolah dalam hal ini limbah tetes tebu dari pabrik bunga mayang, *e-Komik* dengan bahasa sehari-hari sebagai bentuk lain *multiple representations* dan RPP dengan sintaks Lucas yang meliputi 6 fase yaitu fase 1: penentuan pertanyaan mendasar (*start with essential question*), pada fase ini terdapat kegiatan *identification (I)* yaitu menyaksikan video kelangkaan BBM dan memperhatikan lingkungan sekitar untuk menjadi sumber energi alternatif sehingga siswa mampu menjawab permasalahan dan ide/gagasan pemikiran mereka mengenai energi terbarukan/energi alternatif. Fase 2: menyusun perencanaan proyek (*design project*), fase ini terintegrasi *sequence (S)* dan *Focus (F)* yaitu guru membimbing siswa menyusun perencanaan proyek. Fase 3: menyusun jadwal (*create schedule*), fase ini juga masih terintegrasi *sequence (S)* dengan urutan kegiatan guru bersama siswa secara kolaboratif menyusun perencanaan proyek (jadwal, waktu penyelesaian proyek, membawa siswa agar mendapat cara baru dan lain-lain. Fase 4: memantau siswa dan kemajuannya (*monitoring the student and progress of project*), fase ini mencakup *Focus (F)*, *Sequence (S)*, dan *On going Assesment (O)* dengan kegiatan pembuatan energi terbarukan berupa *bioethanol* /briket dimulai dari proses pembuatan biang serta penilaian di setiap aktivitas/ kegiatan siswa, fase 5: penilaian hasil (*On Going Assesment*) yaitu penilaian terhadap produk

yang dibuat siswa serta penilaian keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* menggunakan soal sesuai dengan kisi instrumen sehingga siswa mampu memahami interpretasi bentuk, ukuran, diagram, grafik, hubungan antar objek, visualisasi objek dan lain-lain. Fase 6: evaluasi pengalaman (*evaluation the experience*) pada kegiatan ini guru bersama siswa melakukan refleksi pembelajaran materi energi terbarukan sehingga siswa memiliki pengetahuan terkait energi terbarukan, sikap peduli terhadap efisiensi energi dan perasaan mampu/ perilaku keberlanjutan terkait efisiensi energi dan pembuatan energi terbarukan. Dengan demikian keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa meningkat.



Gambar 2. Kerangka Pemikiran

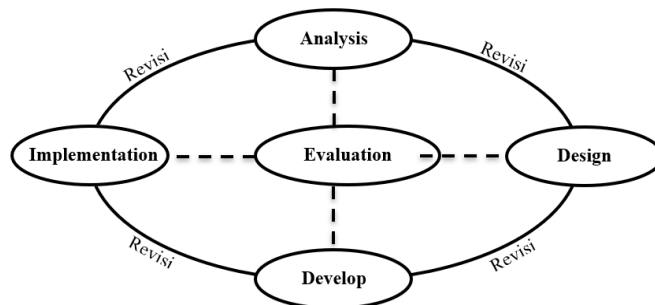
III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di SMAN 2 Kotabumi yang terletak di Jalan Raya Prokimal KM 15 Sawojajar Kotabumi Utara Lampung Utara pada bulan November 2022. Subjek dalam penelitian ini adalah siswa siswi SMA N 2 Kotabumi Kelas XI MIPA yang berjumlah 3 kelas dan akan diambil sebagai sampel 2 kelas secara *purposive sampling* yaitu memilih kelas dengan profil akademis yang sama/setara.

3.2 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode campuran (*mixed-method*) *Research and Development* model pengembangan *ADDIE* (*Analysis, Design, Develop, Implementation and Evaluation*) dengan mengikuti prosedur umum terkait dengan desain instruksional pengembangan model *ADDIE* (Branch, 2010).



Gambar 3. Konsep ADDIE (Branch, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan produk berupa program pembelajaran yang valid, praktis dan efektif terdiri dari RPP, *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-komik* pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* pada materi /topik energi terbarukan untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa SMA.

Metode yang digunakan untuk menghasilkan produk dan untuk menguji keefektifan produk adalah penelitian dan pengembangan. Aplikasi yang peneliti gunakan untuk mengembangkan produk (RPP, *e handout*, *e-LKPD* dan *e-Komik*) sebagai bahan ajar adalah Canva, dengan tahapan pengembangan model *ADDIE* (Branch, 2010). Adapun tahap pengembangan produk yang dilakukan yaitu:

1. Tahap Analisis (*Analysis*)

Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan guru untuk memperoleh informasi awal yang mendalam mengenai pembelajaran fisika materi energi terbarukan, kesulitan belajar, media, metode, bahan ajar yang digunakan, tujuan pembelajaran serta kompetensi yang diharapkan dari peserta didik setelah mempelajari materi energi terbarukan dan masalah yang muncul pada proses kegiatan belajar mengajar di lapangan, kemudian mengumpulkan kemungkinan serta solusi-solusi yang dapat digunakan mengatasi masalah yang ada. Teknik pengumpulan data menggunakan *google form*. Responden diambil berdasarkan kepada kesediaan mengisi *google form*. Analisis data hasil kuesioner dideskripsikan dalam bentuk persentase, kemudian diinterpretasikan secara kualitatif.

Pada tahap ini dilakukan juga analisis kisi-kisi instrumen pengukuran literasi *sustainability* melalui studi literatur (kajian artikel). Selanjutnya dilakukan analisis variabel untuk proses pembelajaran (*checklist* protokol pelaksanaan) *multiple representations*, *PjBL*, dan *STEM* melalui kajian artikel atau literatur.

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap peserta didik, yaitu dengan mengadakan *pretest* terhadap 3 kelas (kelas XI MIPA 1, XI MIPA 2 dan XI MIPA 3) untuk memilih kelas eksperimen dan kontrol.

2. Tahap Desain (*Design*)

Tahap desain mencakup:

- a. Perumusan tujuan pembelajaran, penyusunan kerangka struktur RPP, *e-handout*, *e-LKPD*, *e-komik* pembelajaran untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa dengan berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM*
- b. Penentuan sistematika penyajian materi, ilustrasi, dan visualisasi.
- c. Penulisan draft produk awal RPP, *e-handout*, *e-LKPD* dan *e-Komik* pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* yang memuat cover yang menarik, menyusun konsep materi, gambar yang menarik berkaitan dengan materi. Pada tahap awal ini, peneliti juga membuat instrumen kepraktisan peserta didik dan pendidik, instrumen validitas produk, dan instrumen soal tes.

Selanjutnya instrumen akan divalidasi oleh 3 orang ahli (2 orang dosen dan 1 orang guru fisika). Produk didesain berdasarkan hasil kajian teori dan kajian terhadap hasil penelitian terdahulu mengenai RPP, *e-handout*, *e-LKPD* dan *e-komik* pembelajaran yang efektif. Desain produk selanjutnya mengikuti kisi instrumen/indikator *multiple representations*, *PjBL* dan *STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability*. Instrumen validitas yang digunakan berupa kuesioner skala *likert* dengan empat pilihan yaitu (1) tidak layak, (2) kurang layak, (3) layak, (4) sangat layak.

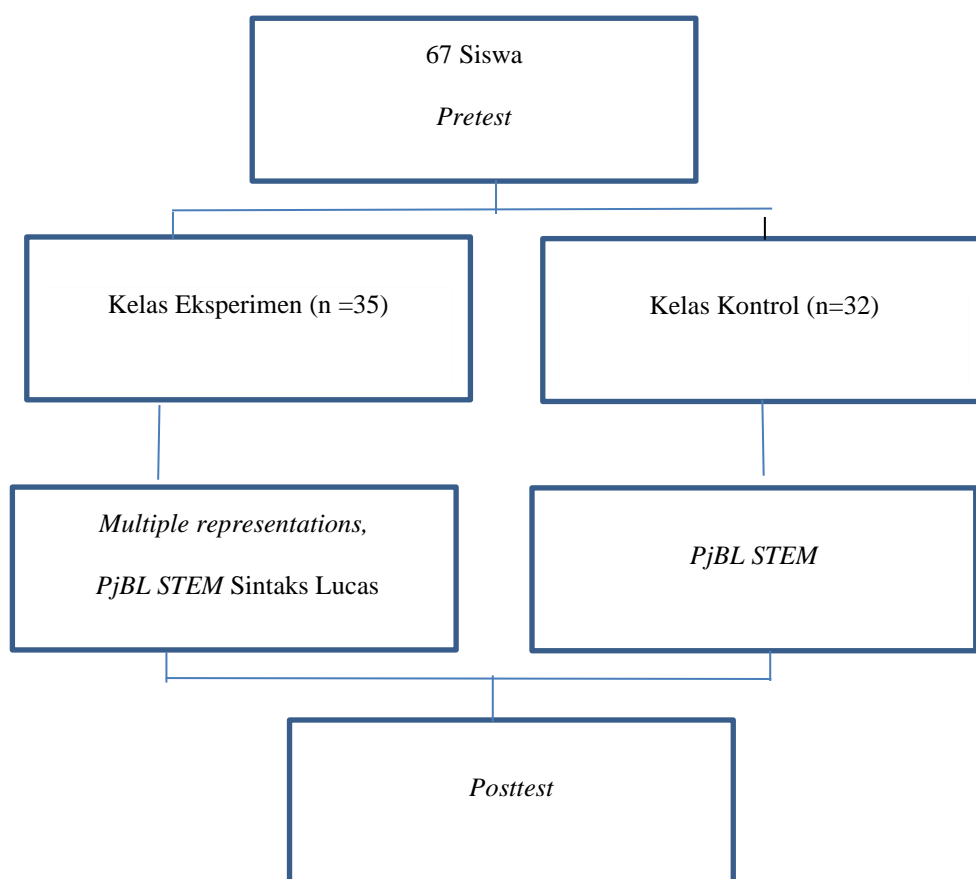
3. Tahap Pengembangan (*Develop*)

Setelah dilakukan validasi selanjutnya desain produk RPP, *e-handout*, *e-LKPD* dan *e-Komik* akan diperbaiki sesuai dengan saran dari validator. Tahap pengembangan yang dilakukan diawali dengan pengembangan instrumen pengukuran keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability*, instrumen ini diuji cobakan pada siswa yang sudah pernah belajar tentang Energi Terbarukan untuk mendapatkan reliabilitas soal. Selanjutnya soal dengan reliabilitas tinggi

dapat digunakan sebagai soal *pretest* dan *posttest* pada kelas kontrol dan eksperimen.

4. Tahap Implementasi (*Implement*)

Pada tahap implementasi dilakukan penelitian eksperimen dengan desain kuantitatif berupa metode kuasi eksperimen “*Non- equivalent Pretest – Posttest Control Group Design*”.



Gambar 4. Tahap Implementasi Program Pembelajaran

Selanjutnya dilakukan ujicoba terhadap kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Kelompok eksperimen (Kelas XI MIPA 3) menggunakan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* sintaks Lucas yang dilakukan secara bertahap sesuai RPP sedangkan kelompok kontrol (XI MIPA 2) menggunakan pendekatan *PjBL STEM* saja. Tahap uji coba atau

Implementasi dilakukan secara terbatas di SMAN 2 Kotabumi untuk mengetahui efektivitas RPP, *e-handout*, *e-LKPD*, *e-komik* pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa. Tahapan implementasi produk ini ada beberapa langkah yaitu langkah pertama melakukan uji coba terhadap penggunaan RPP, *e-handout*, *e-LKPD* dan *e-Komik* kepada siswa untuk mengetahui kepraktisan *e-handout*, *e-LKPD* dan *e-Komik* yang sudah dikembangkan dengan menggunakan instrumen kemenarikan dan keterbacaan. Langkah kedua melakukan uji coba keefektifan *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* yaitu dengan instrumen tes dengan *google form*. Implementasi ini berfungsi untuk mengetahui keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa. Untuk melihat keefektifan soal yaitu menggunakan program SPSS (Analisis *Descriptive*, *One sample KS*, *Wilcoxon rank test*, *Man whitney U*, peningkatan *N gain* dan lain-lain).

5. Tahap Evaluasi (*Evaluate*)

Tahap evaluasi ini peneliti melakukan evaluasi terhadap *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* yang telah dikembangkan yang bertujuan untuk mengetahui kepraktisan dan keefektifan *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* terhadap keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa setelah pembelajaran menggunakan *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* topik/ materi energi terbarukan. Adapun data yang dideskripsikan yaitu:

1. Data yang diperoleh dari angket respon peserta didik setelah penggunaan *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* serta data *posttest* keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa. Setelah pembelajaran pendidik memberikan angket respon siswa setelah melakukan pembelajaran terhadap penggunaan *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* yang peneliti berikan.
2. Melakukan uji keefektifan *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik*.

Pada penelitian ini dilakukan dengan tes menggunakan *google form* yang hasilnya dianalisis dengan SPSS. Materi yang dipakai yaitu materi energi terbarukan sesuai dengan produk *e-handout*, *e-LKPD*, dan *e-Komik* yang telah dikembangkan.

3. Refleksi pembelajaran, terkait bagaimana perasaan siswa setelah mempelajari materi energi terbarukan, apa yang sudah baik dalam pembelajaran serta apa yang perlu ditingkatkan untuk pembelajaran energi terbarukan selanjutnya.

3.3 Teknik dan Pengumpulan Data

Instrumen Penelitian

Adapun instrumen penelitian ini yaitu:

1. Analisis kebutuhan guru menggunakan *google form* dikembangkan sendiri oleh peneliti. Instrumen ini diisi oleh guru se Lampung secara *online* untuk mendapatkan informasi detail mengenai proses pembelajaran yang selama ini berlangsung apakah beorientasi *STEM education, multiple representations*, dan *PjBL*.
2. Lembar observasi yang dikembangkan berupa lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran dan aktivitas siswa selama implementasi pengembangan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa pada topik energi terbarukan. Lembar observasi berisi daftar *check* terhadap proses pembelajaran dan aktivitas siswa.
3. Instrumen tes/ soal keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa. Tes standar untuk mengukur keterampilan spasial dan literasi *sustainability* siswa yang dikembangkan oleh peneliti melalui kisi-kisi instrumen/ indikator keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* dari studi literatur.

3.4 Analisis Data

3.4.1 Teknik analisis

Teknik analisis untuk data hasil penelitian akan dilakukan sebagai berikut.

1. Pendekatan kualitatif yang bersifat induktif digunakan untuk menganalisis data kualitatif. Data tersebut akan disusun secara kategoris dan kronologis, ditinjau secara berulang-ulang, dan dikodekan.
2. Pengolahan data kuantitatif berupa analisis data yang diperoleh dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 3 analisis yaitu analisis kevalidan, kepraktisan dan keefektifan. Selain itu keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa didasarkan pada skor *gain* ternormalisasi (N_{gain}). Sedangkan teknik analisis data dari kevalidan, kepraktisan dan keefektifan tersebut merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nieven (1999), yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

3.4.2 Analisis data kevalidan

Kevalidan produk hasil penelitian dinilai oleh 3 orang validator ahli. Kegiatan yang dilakukan dalam proses analisis data kevalidan sebagai berikut:

1. Penilaian kualitatif produk pengembangan perangkat pembelajaran dilakukan melalui penilaian *checklist*. Hasil penilaian dari validator berupa kualitas produk dikodekan dengan skala kualitatif kemudian dilakukan pengubahan nilai kualitatif menjadi nilai kuantitatif dengan ketentuan seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Pengubahan Nilai Kualitatif Menjadi Nilai Kuantitatif

Nilai	Angka
Sangat Layak	4
Layak	3
Kurang Layak	2
Tidak Layak	1

Akker (1999)

2. Melakukan rekapitulasi hasil penilaian ahli ke dalam tabel yang meliputi aspek penilaian (\bar{A}_i) dan nilai total (\bar{V}_{ij}) untuk masing-masing validator

3. Menentukan rata-rata nilai hasil validasi dari semua validator untuk setiap kriteria dengan rumus:

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

Keterangan:

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

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

n = banyaknya validator

4. Menentukan rata-rata nilai untuk setiap aspek dengan rumus:

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

Keterangan:

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

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

n = banyaknya kriteria

5. Mencari rata-rata total ($\overline{V_a}$) dengan rumus:

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

Keterangan:

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

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

n = banyaknya aspek

- 5.1 Menentukan kategori validitas setiap kriteria ($\overline{K_i}$) atau rata-rata aspek ($\overline{A_i}$) atau rata-rata total ($\overline{V_a}$) dengan kategori validasi yang telah ditetapkan seperti Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Kevalidan Nilai

Nilai	Kriteria
$3,5 \leq V \leq 4$	Sangat valid
$2,5 \leq V < 3,5$	Valid
$1,5 \leq V < 2,5$	Cukup Valid
$0 \leq V < 1,5$	Tidak Valid

(Nieven, 1999)

Perangkat pembelajaran dikatakan valid apabila hasil yang didapat berada dalam rentang ($2,5 \leq V < 3,5$) dan dapat diujicobakan di lapangan.

3.4.3 Analisis Data Kepraktisan

Untuk mengetahui kepraktisan dari program pembelajaran yang dikembangkan, maka dilaksanakan pembelajaran dengan menggunakan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM*. Kegiatan yang dilakukan dalam proses analisis data kepraktisan adalah sebagai berikut:

1. Penilaian kualitatif hasil pengamatan keterlaksanaan perangkat pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* dilakukan oleh 2 orang rekan guru melalui penilaian *checklist* dengan kisi instrumen Lampiran 27.
2. Hasil penilaian dari guru pengamat/ observer berupa kualitas keterlaksanaan perangkat pembelajaran di kelas dikodekan dengan skala kualitatif kemudian dilakukan perubahan nilai kualitatif menjadi nilai kuantitatif dengan ketentuan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Perubahan Nilai Kualitatif Menjadi Nilai Kuantitatif

Nilai	Angka
Ya	1
Tidak	0

Nieven (1999)

3. Melakukan rekapitulasi nilai pengamatan observer dan mencari rata-rata total dengan rumus:

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

Keterangan:

\bar{x} = rata-rata total

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

n = banyaknya kriteria

4. Menentukan kategori keseluruhan kriteria dengan mencocokkan rata-rata total dengan kategori yang telah ditetapkan dengan kriteria nilai rata-rata dirujuk pada interval penentuan tingkat kepraktisan perangkat pembelajaran seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Kategori Tingkat Kepraktisan Perangkat Pembelajaran

Interval	Kategori
0,00 – 0,20	Sangat rendah
0,20 – 0,40	Rendah
0,40 – 0,60	Cukup
0,60 – 0,80	Tinggi
0,80 – 1,00	Sangat tinggi

(Nieven, 1999)

Perangkat pembelajaran dikatakan sangat praktis ketika hasil praktikalitas berada dalam rentang (0,80 – 1,00) dan dapat dilanjutkan dalam tahap efektivitas.

3.4.4 Analisis Data Keefektifan

Efektivitas perangkat pembelajaran dilakukan dalam uji terbatas. Adapun desain eksperimen yang digunakan yaitu desain *Non- equivalent Pretest – Posttest Control Group Design*”, yaitu eksperimen dilakukan pada dua kelompok yang hampir sama untuk diberi *treatment* atau perlakuan yang berbeda dan selanjutnya diobservasi hasilnya untuk mengetahui peningkatan keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa.

Kegiatan yang dilakukan dalam proses analisis data keefektifan adalah sebagai berikut:

1. Penilaian kualitatif hasil pengamatan keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* pada saat pelaksanaan pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* dilakukan melalui tes.

Berdasarkan indikator kisi-kisi instrumen pengukuran keterampilan berpikir spasial, maka dibuatlah 11 soal keterampilan berpikir spasial. Berdasarkan kisi-kisi instrumen pengukuran literasi *sustainability* dibuatlah 20 soal literasi *sustainability* dimensi pengetahuan, 3 soal dimensi *skill*, 4 soal dimensi sikap dan 9 soal dimensi perilaku. Hasil tes selanjutnya dianalisis menggunakan SPSS.

2. Pengolahan data penelitian kuantitatif ini dimulai dengan uji statistik berupa uji normalitas dan homogenitas, sebagai berikut:

- a) Uji normalitas dengan menggunakan *One Sample Kolmogorov-Smirnov Test* menggunakan SPSS for Windows versi 26.

b) *Uji Wilcoxon*

- 1) Jika nilai *signifikansi* uji $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_a ditolak.

Artinya tidak ada pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen.

- 2) Jika nilai *signifikansi* uji $\leq 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_a diterima.

Artinya terdapat pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen.

Dengan demikian, hipotesis dalam penelitian ini adalah:

H_0 = pengembangan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* tidak meningkatkan keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability*.

H_a = pengembangan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* meningkatkan keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data hasil penelitian dan pembahasan tentang pengembangan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* yang dikembangkan dinyatakan layak untuk diimplementasikan dengan berdasarkan pada penilaian para ahli yang memenuhi kategori sangat valid dengan nilai rata-rata validasi konstruk 4 dan nilai rata-rata validasi isi 3,92.
2. Program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* yang dikembangkan dinyatakan memiliki praktikalitas yang baik dengan nilai 3,3 (kategori praktis) dari responden siswa serta nilai respon 0,94 dari *observer* guru terhadap keterlaksanaan program pembelajaran dengan kategori sangat baik/ sangat praktis.
3. Program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* yang dikembangkan efektif dalam melatih keterampilan berpikir spasial dan literasi *sustainability* siswa terbukti dengan hasil *pretest* dan *posttest* yang meningkat, serta *N gain* kelas eksperimen yang lebih tinggi dari kelas kontrol.

5.2 SARAN

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

1. Guru/ Peneliti lain dapat mengembangkan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* untuk materi energi terbarukan yang lain seperti PLTMh, PLTB, PLTS, dan lain-lain.
2. Bagi Peneliti yang akan mengembangkan program pembelajaran berbasis *multiple representations* terintegrasi *PjBL STEM* ini sebaiknya dikombinasikan dengan pembelajaran berdiferensiasi terintegrasi KSE (kompetensi sosial emosional) sesuai kebijakan pemerintah saat ini.
3. Siswa dapat membiasakan diri belajar menggunakan grafik, diagram, tabel (Keterampilan Berpikir Spasial) yang telah dilatihkan pada pembelajaran selanjutnya.
4. Program pembelajaran ini baik digunakan guru, siswa dan pemerintah dalam membelajarkan energi terbarukan karena dapat memfasilitasi beraneka ragam kebutuhan belajar siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriana, J. 2015. Project based learning (PjBL). *Makalah Untuk Tugas Mata Kuliah Pembelajaran IPA Terpadu. Program Studi Pendidikan IPA Sekolah Pascasarjana*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Ainsworth, S. 1999. The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33(2): 131–152. [https://doi.org/10.1016/s0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/s0360-1315(99)00029-9)
- Amran, A., Jasin, I., Perkasa, M., Satriawan, M., Irwansyah, M., & Erwanto, D. 2020. Implementation of education for sustainable development to enhance Indonesian golden generation character. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(4):1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/4/042102>
- Anghileri, J. 2006. Scaffolding practices that enhance mathematics learning. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 9: 33–52.
- Azzahra, A., Sunaryo, S., & Budi, E. 2022. PF-73 Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis Pendekatan Sets (Science, Environment, Technology, And Society) Menggunakan Program Lectora Inspire Pada Materi Sumber Energi Terbarukan Kelas Xii Sma. 10(1):73 - 81. Jalan Rawamangun Muka, 1. <https://doi.org/10.21009/03.Snf2022>
- Barry, D. M., Kanematsu, H., Lawson, M., Nakahira, K., & Ogawa, N. 2017. Virtual STEM activity for renewable energy. *Procedia Computer Science*, 112: 946–955. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.130>
- Branch, R. M. 2010. Instructional design: The ADDIE approach. *In Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>
- Budiharti, R., & Aristiyaningsih, L. 2016. Syntax construct validity of Project Based Learning of global warming material. *Proceeding of International Conference on Teacher Training and Education*, 1(1): 1-7

- Campbell, C., Lacković, N., & Olteanu, A. 2021. A “Strong” Approach to Sustainability Literacy: Embodied Ecology and Media. *Philosophies*, 6(1):14 – 34.
- Capraro, M. R., & Slough, W. S. (2013). Why PBL? Why Stem? Why Now? An Introduction to Stem Project-Based Learning: An Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (Stem) Approach. In R. M. Capraro, M. M. Capraro, & J. R. Morgan (Eds.), *Project-Based Learning: An Integrated Science, Technology, Engineering, and Technology (STEM) Approach* (pp.1-6). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
https://doi.org/10.1007/978-94-6209-143-6_1
- Cebrián, G., Junyent, M., & Mulà, I. 2020. Competencies in education for sustainable development: Emerging teaching and research developments. In *Sustainability*, 12(1): 579 - 588. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2011). *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. San Fransisco, CA: Pfeiffer.
<http://dx.doi.org/10.1002/9781118255971>
- Davis, G., O’callaghan, F., & Knox, K. 2009. Sustainable attitudes and behaviours amongst a sample of non-academic staff: A case study from an Information Services Department, Griffith University, Brisbane. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 10(2):136–151.
<https://doi.org/10.1108/14676370910945945>
- Desnita. 2015. Halaman 7 Kurikulum Tersembunyi Lingkungan di dalam Materi Energi Terbarukan untuk Fisika SMA. *Pengembangan Pendidikan Fisika*, 1(2):7-12. <https://doi.org/10.21009/1>
- DeSutter, D., & Stieff, M. 2017. Teaching students to think spatially through embodied actions: Design principles for learning environments in science, technology, engineering, and mathematics. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1):22 - 42. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0039-y>
- Deta, U. A. 2017. Peningkatan Pemahaman Materi Kuantisasi Besaran Fisis Pada Calon Guru Fisika Menggunakan Metode Diskusi Kelas dan Scaffolding. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 6(2), 201–207.
- Dinantika, H. K., Suyanto, E., & Nyeneng, I. D. P. 2019. Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning Terhadap Kreativitas Siswa Pada Materi Energi Terbarukan. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 11(2): 73–80. <https://doi.org/10.30599/jti.v11i2.473>
- Dywan, A. A., & Airlanda, G. S. 2020. Efektivitas model pembelajaran project based learning berbasis STEM dan tidak berbasis STEM terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Basicedu*, 4(2): 344–354.

- 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>
- Ford, M. 2008. Disciplinary authority and accountability in scientific practice and learning. *Science Education*, 92(3): 404–423.
- Gagnier, K. M., Holochwost, S. J., & Fisher, K. R. 2021. Spatial thinking in science, technology, engineering, and mathematics: Elementary teachers' beliefs, perceptions, and self-efficacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(1):95-126. <https://doi.org/10.1002/tea.21722>
- Garrecht, C., Bruckermann, T., & Harms, U. 2018. Students' decision-making in education for sustainability-related extracurricular activities-a systematic review of empirical studies. In *Sustainability (Switzerland)* ,10(11):3876 - 3895. MDPI. <https://doi.org/10.3390/su10113876>
- Ghorbani, F., Younesi, H., Sari, A. E., & Najafpour, G. 2011. Cane molasses fermentation for continuous ethanol production in an immobilized cells reactor by *Saccharomyces cerevisiae*. *Renewable Energy*, 36(2): 503–509.
- Giere, R. N., & Moffatt, B. 2003. Distributed cognition: Where the cognitive and the social merge. *Social Studies of Science*, 33(2): 301–310.
- Hasung, K., Kadaritna, N., & Tania, L. 2018. *Cek Similarity: Efektivitas Model Pembelajaran ADI Dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Berdasarkan Kemampuan Akademik*, 7(2): 1-13.
- Hills, T. 2007. Is constructivism risky? Social anxiety, classroom participation, competitive game play and constructivist preferences in teacher development. *Teacher Development*, 11(3): 335–352.
- Jeong, J. S., & González-Gómez, D. 2020. A web-based tool framing a collective method for optimizing the location of a renewable energy facility and its possible application to sustainable STEM education. *Journal of Cleaner Production*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119747>
- Jewitt, C., Kress, G., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. 2001. Exploring learning through visual, actional and linguistic communication: The multimodal environment of a science classroom. *Educational Review*, 53(1): 5–18.
- Kaniawati, D.S., & Suwarma, I. K. I. R. (2015). Study Literasi Pengaruh Pengintegrasian Pendekatan STEM dalam Learning Cycle 5E terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa pada Pembelajaran Fisika. Seminar Nasional Fisika (SiNaFi) (hal. 39- 48). Bandung: Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI.

- Lopez-Medina, I. M., Álvarez-Nieto, C., Grose, J., Elsbernd, A., Huss, N., Huynen, M., & Richardson, J. 2019. Competencies on environmental health and pedagogical approaches in the nursing curriculum: A systematic review of the literature. *Nurse Education in Practice*, 37: 1–8.
- Lubinski, D. 2010. Spatial ability and STEM: A sleeping giant for talent identification and development. *Personality and Individual Differences*, 49(4): 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.03.022>
- Lund, H. 2007. Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, 32(6): 912–919.
- Lusiyana, A., Festiyed, & Yulkifli. 2019. The problems of integrating multiple representation skills in physics learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1185(1): 1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1185/1/012035>
- Mamahit, J. A., Aloysius, D. C., & Suwono, H. 2020. Efektivitas model project-based learning terintegrasi STEM (PjBL-STEM) terhadap keterampilan berpikir kreatif siswa kelas X. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 5(9): 1284–1289.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 43–71). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005>
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38, 43-52. <http://0search.ebscohost.com.library.alliant.edu/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=9110440&site=ehost-live&scope=site>
https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6
- Newcombe, N. S. 2017. Erratum to “Thinking spatially in the science classroom” [Current Opinion in Behavioral Sciences 10 (2016) 1–6] (S2352154616300870)(10.1016/j.cobeha.2016.04.010). *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 14(2016), 172. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.04.004>
- Nieveen, N. 1999. Prototyping to reach product quality. *Design Approaches and Tools in Education and Training*, 125–135.
- Nuangchalerm, P., Prachagool, V., Islami, R. A. Z. El, & Abdurrahman, A. 2020. Contribution of Integrated Learning through STEM Education in ASEAN Countries. *Jurnal Pendidikan Progresif*, 10(1): 11–21. <https://doi.org/10.23960/jpp.v10.i1.202002>
- Nugroho, O. F., Permanasari, A., Firman, H., & Riandi. 2019. STEM approach based on local wisdom to enhance sustainability literacy. *AIP Conference Proceedings*, 2194: 1- 6. <https://doi.org/10.1063/1.5139804>

- 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>
- Pratiwi, Y., Yulia, S. R., & Ramli, R. 2021. Validity of physics student e-book based on the STEM approach to improve knowledge competence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1876(1): 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1876/1/012031>
- Prayudo, A. S., Kuswari, H., & Kom, M. 2018. Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Multimedia Flash dengan Metode Penemuan Terbimbing pada Materi Dimensi Tiga. *Jurnal Pedagogi Matematika*, 7(1): 59–66.
- Probst, L., Bardach, L., Kamusingize, D., Templer, N., Ogwali, H., Owamani, A., Mulumba, L., Onwonga, R., & Adugna, B. T. 2019. A transformative university learning experience contributes to sustainability attitudes, skills and agency. *Journal of Cleaner Production*, 232: 648–656. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.395>
- Putri, K. D., Suyanto, E., & Nyeneng, I. D. P. 2019. Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran Kontekstual dalam Pembelajaran Fisika terhadap Hasil Belajar Siswa pada Materi Energi Terbarukan. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 11(2):87–93. <https://doi.org/10.30599/jti.v11i2.474>
- Rau, M. A. 2017. Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4):717–761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>
- Russel, S., Schwenk, B., & Wiens, K. 2021. Sustainability Attitudes and Behaviors of Undergraduate Nutrition and Dietetics Students at the University of Delaware. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 121(9):61. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2021.06.180>
- Schnotz, W. (2014). Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd edition, pp. 72-103). Cambridge: Cambridge University Press.
- Serpa, S., & Sá, M. J. 2018. *Exploring sociology of education in the promotion of sustainability literacy in higher education*.
- Shymansky, J. A. 1992. Using constructivist ideas to teach science teachers about constructivist ideas, or teachers are students too! *Journal of Science Teacher Education*, 3(2): 53–57.
- Sorby, S., Veurink, N., & Streiner, S. 2018. Does spatial skills instruction improve STEM outcomes? The answer is ‘yes.’ *Learning and Individual Differences*, 67: 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2018.09.001>

- Stit, S., Nusantara, P., & Ntb, L. 2019. Teori Konstruktivisme Dalam Pembelajaran. In *Jurnal Keislaman dan Ilmu Pendidikan*, 1(2):79-88. <https://ejournal.stitpn.ac.id/index.php/islamika>
- Sutriani, & Mansyur, J. 2021. The analysis of students' ability in solving physics problems using multiple representations. *Journal of Physics: Conference Series*, 1760(1): 1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1760/1/012035>
- Syahmel, S., & Jumadi. 2020. Utilization of multiple representations in science learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(4): 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/4/042028>
- Taylor, H. A., & Hutton, A. 2013. Think3d!: Training spatial thinking fundamental to stem education. *Cognition and Instruction*, 31(4): 434–455. <https://doi.org/10.1080/07370008.2013.828727>
- Van den Akker, J. 1999. Principles and methods of development research. *Design Approaches and Tools in Education and Training*:1–14.
- Waldrip, B., Prain, V., & Carolan, J. 2010. Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. *Research in Science Education*, 40: 65–80.
- Yulia, S. R., Pratiwi, Y., & Ramli, R. 2020. Needs analysis in development of physics handout based on STEM approach for 11th grade of senior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1481(1): 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012054>
- Yulia, S. R., Pratiwi, Y., & Ramli, R. 2021. Validity of physics e-handouts based on the STEM approach to improve students' knowledge competency. *Journal of Physics: Conference Series*, 1876(1): 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1876/1/012035>