

Penguatan Kemampuan *Engineering Design Process* Melalui Pendekatan STEM Terpadu pada Pembelajaran Energi Terbarukan (Studi kasus pada salah satu SMA Negeri di Lamongan)

Ninik Sumiyati¹, Fathiah Alatas^{2*}

^{1,2}Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta,
Tangerang Selatan, Banten

* Penulis korespondensi: fathiah.alatas@uinjkt.ac.id

Abstrak

Kemampuan siswa dalam menerapkan *engineering design process* masih menjadi tantangan dalam pembelajaran abad ke-21, khususnya pada topik energi terbarukan yang menuntut pemecahan masalah berbasis rekayasa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi peningkatan kemampuan EDP siswa melalui implementasi pendekatan STEM terpadu (*integrated STEM*). Pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus yang melibatkan 30 siswa kelas XI di sekolah SMA Negeri di Lamongan, yang dipilih melalui teknik *purposive sampling* berdasarkan kriteria belum pernah mengikuti pembelajaran dengan tahapan EDP dan berbasis STEM. Instrumen pengumpulan data meliputi lembar kerja peserta didik dan rubrik observasi yang dikembangkan berdasarkan kemampuan EDP. Hasil menunjukkan peningkatan kemampuan secara bermakna setelah pembelajaran, terutama pada tahapan *define the problem*, *Research*, dan *create*, yang mayoritas kelompok berpindah dari kategori Pemula menuju Berkembang. Kemampuan *test and evaluate* serta *communication* juga mengalami pergeseran positif dari kategori awal yang rendah. Temuan ini memperkuat bukti bahwa pendekatan STEM terpadu mampu mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proses desain rekayasa. Implikasi praktis dari studi ini menunjukkan pentingnya pengintegrasian pendekatan lintas disiplin untuk membekali siswa dengan keterampilan berpikir desain yang aplikatif, kontekstual, dan selaras dengan tantangan energi masa depan

Kata kunci: *Engineering Design Process* (EDP), Pendekatan STEM, Energi Terbarukan

1. Pendahuluan

Globalisasi dan perkembangan teknologi telah mengubah paradigma Pendidikan, dengan menuntut siswa untuk memiliki keterampilan abad 21 yang mencakup berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi (Rahayu et al., 2022). Di era digital, kemampuan siswa tidak hanya diukur dari pemahaman teoritis, tetapi juga dari kemampuan mereka dalam menyelesaikan masalah nyata melalui pendekatan yang relevan (Hasanah & Haryadi, 2022). Salah satu kompetensi penting yang harus dimiliki siswa adalah kemampuan *engineering thinking*, terutama dalam konteks global yang menuntut siswa untuk memecahkan masalah lintas disiplin dan lintas budaya (Meyer & Norman, 2020). Namun, kenyataan di lapangan

menunjukkan bahwa sistem pembelajaran di berbagai satuan pendidikan, terutama pada mata pelajaran fisika, masih didominasi oleh pendekatan konvensional yang menekankan hafalan dan penguasaan konsep secara teoritis, kontekstual dan eksperimen (Satriawan et al., 2022). Maka dari itu siswa belum diberikan kesempatan yang cukup untuk mengeksplorasi dan menerapkan pengetahuannya dalam bentuk pengalaman belajar yang kontekstual dan aplikatif.

Salah satu konsekuensinya adalah rendahnya kemampuan siswa dalam berpikir secara sistematis dan teknis untuk menyelesaikan masalah nyata. Padahal, kemampuan berpikir teknik (*engineering thinking*) merupakan salah satu keterampilan kunci dalam menghadapi tantangan abad ke-21 (Lin et al., 2021), termasuk dalam mengatasi isu-isu strategis seperti krisis energi dan keberlanjutan lingkungan. Namun pembelajaran fisika di sekolah masih cenderung terfokus pada hafalan dan pemahaman konsep teoritis semata. Akibatnya, siswa kurang terlatih dalam menerapkan prinsip desain teknik secara kreatif dan kontekstual dalam menyelesaikan permasalahan nyata (Adolph, 2016)(Syukri et al., 2018). Dengan tantangan tersebut pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) hadir sebagai salah satu alternatif yang integratif. Pendekatan ini menggabungkan berbagai disiplin ilmu dalam satu kesatuan pembelajaran yang memungkinkan siswa melihat keterkaitan antar konsep, serta mendorong mereka untuk berpikir lintas disiplin dalam menyelesaikan masalah dunia nyata (Bybee, 2013; Kelley & Knowles, 2016). Salah satu unsur penting dalam pendekatan STEM adalah *Engineering Design Process* (EDP), yaitu suatu kerangka berpikir sistematis yang digunakan dalam proses perancangan solusi berbasis teknik. EDP menekankan pada tahapan *define the problem, research, imagine, plan, create, test and evaluate, redesign, dan communication* (Jolly, 2016). Melalui EDP, siswa diarahkan untuk berpikir dan bertindak seperti seorang insinyur, mulai dari merumuskan masalah hingga mengevaluasi dan merevisi solusi berdasarkan umpan balik (Jolly, 2016).

Penelitian menunjukkan bahwa integrasi antara STEM dan EDP dalam pembelajaran dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, serta keterampilan kolaboratif siswa (Crismond & Adams, 2012; Lin et al., 2021). Namun demikian, penerapan pendekatan ini di sekolah-sekolah Indonesia masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan pemahaman guru terhadap konsep STEM-EDP, keterbatasan waktu, serta kurangnya sumber belajar yang kontekstual (Utami et al., 2017; Widiastuti & Budiyanto, 2022) Pembelajaran masih terfragmentasi, di mana sains, matematika, dan teknologi diajarkan secara terpisah, dan

siswa jarang dilibatkan dalam aktivitas perancangan atau pemecahan masalah yang autentik (Widiastuti & Budiyanto, 2022). Dalam konteks ini, topik energi terbarukan menjadi salah satu materi yang sangat relevan untuk diterapkan dalam pembelajaran berbasis STEM dan *Engineering Design Process* (EDP) (Murni & Suryanto, 2021). Energi terbarukan tidak hanya tercakup dalam kurikulum fisika, tetapi juga merupakan isu global yang menuntut pemahaman lintas disiplin dan kemampuan problem solving berbasis rekayasa. Melalui penerapan pendekatan STEM yang mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika, siswa dapat dilatih untuk mengidentifikasi permasalahan energi di lingkungan sekitar, merancang solusi teknologi sederhana, serta mengembangkan prototipe sebagai bentuk penerapan dari konsep yang mereka pelajari (Nasbey, 2024). Pendekatan ini memberikan ruang bagi siswa untuk berpikir sistematis dan kontekstual melalui tahapan EDP yang mencakup *define the problem, research, imagine, plan, create, test, dan communication*.

Namun, berdasarkan kondisi di lapangan, kemampuan siswa dalam menerapkan tahapan EDP masih tergolong rendah, terutama dalam konteks pembelajaran fisika yang masih didominasi pendekatan konvensional. Salah satu penyebabnya adalah belum tersedianya model pembelajaran yang secara eksplisit mengintegrasikan pendekatan STEM dengan tahapan EDP secara utuh dan sistematis. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan dan menerapkan model pembelajaran berbasis STEM terpadu yang mengintegrasikan seluruh tahapan EDP. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kemampuan berpikir desain siswa melalui keterlibatan aktif dalam merancang, menguji, dan mengevaluasi solusi terhadap permasalahan nyata di bidang energi terbarukan. Pembelajaran akan difokuskan pada keterlibatan aktif siswa dalam proses merancang, menguji, dan mengevaluasi solusi terhadap persoalan energi terbarukan. Proses ini akan dilakukan melalui pendekatan proyek yang memungkinkan siswa mengalami langsung proses berpikir dan praktik teknik. Kemampuan siswa akan dianalisis berdasarkan indikator EDP yang telah dikembangkan oleh Crismond dan Adams (2012), mencakup *think, design, create dan test* (Crismond & Adams, 2012). Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kemampuan siswa dalam menerapkan *Engineering Design Process* saat menggunakan pembelajaran berbasis STEM terpadu. Serta mengidentifikasi korelasi antara penerapan pendekatan STEM terpadu dengan kemampuan *Engineering Design Process* (EDP).

2. Metode

Metode penelitian ini adalah penelitian kualitatif dengan menggunakan studi kasus, studi kasus digunakan untuk mengeksplorasi secara mendalam pada suatu fenomena atau kasus tertentu dalam konteks kehidupan nyata yang bersifat deskriptif yang mencakup proses pengumpulan data, analisis data, serta interpretasi hasil dalam bentuk narasi atau kata-kata (Sugiyono, 2019) dengan tiga kali pertemuan. Kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah kemampuan *Engineering Design Process* (EDP) menggunakan pendekatan STEM yang belum pernah di terapkan di salah satu SMA Negeri di Kabupaten Lamongan. Penelitian ini dilaksanakan pada 25 November sampai 6 Desember tahun ajaran 2024/2025. Subjek pada penelitian ini adalah kelas X1 yang berjumlah 30 siswa dibagi menjadi 5 kelompok dengan setiap kelompok berisi 6 siswa pada masing-masing kelompok. Teknik pengambilan sampel ini menggunakan teknik *purposive sampling* (pemilihan subjek berdasarkan kriteria tertentu). Dalam hal ini siswa yang belum pernah mengikuti pembelajaran dengan pendekatan STEM. Pemilihan ini bertujuan untuk memperoleh data yang relevan terkait analisis kemampuan EDP siswa setelah mengikuti pembelajaran berbasis STEM.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung dan dokumentasi. Observasi dilakukan oleh peneliti saat kegiatan pembelajaran berlangsung untuk mengamati secara langsung kemunculan kemampuan *Engineering Design Process* (EDP) pada siswa. Selain itu, dokumentasi digunakan sebagai sumber data pendukung berupa Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) dan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). RPP disusun berdasarkan pendekatan *integrated* STEM yang mengarahkan siswa pada tahapan EDP, sedangkan LKPD digunakan sebagai instrumen utama untuk memperoleh data terkait kemampuan siswa dalam menerapkan tahapan EDP selama proses pembelajaran.

Analisis data yang dilakukan secara kualitatif ini melalui proses penilaian berdasarkan rubrik, penyajian, dan penarikan kesimpulan. Data yang diperoleh dari LKPD dianalisis menggunakan rubrik kemampuan *Engineering Design Process* yang diadaptasi dari Crismond dan Adams (2012) yang diadaptasi dari tesis trivena (Trivena et al., 2022). Untuk lebih jelasnya, rubrik kemampuan EDP yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rubrik kemampuan *Engineering Design Process* (EDP)

<i>Kemampuan</i>	<i>Tahapan</i>	<i>Perancang level pemula (novice) 1</i>	<i>Perancang level tumbuh (Intermediat e) 2</i>	<i>Perancang level berkembang (Developing designer) 3</i>	<i>Perancang level lanjutan (Informed designer) 4</i>
<i>Think</i>	Mengidentifikasi masalah	a. Tidak dapat mendefinisikan masalah dengan baik	a. Sedikit bisa mendefinisikan masalah dengan baik	a. Hampir mendapat mendefinisikan masalah dengan baik	a. Dapat mendefinisikan masalah dengan baik
		b. Terburu-buru dalam menyelesaikan masalah tanpa memahami permasalahan	b. Menyelesaikan masalah dengan pemahaman yang sederhana	b. Menyelesaikan masalah dengan pemahaman yang cukup baik	b. Menyelesaikan masalah dengan pemahaman yang baik
		c. Tidak dapat membuat kerangka masalah	c. Dapat membuat kerangka masalah secara sederhana	c. Mengeksplorasi masalah dan dapat membuat kerangka dengan cukup baik	c. Mengeksplorasi masalah dan dapat membuat kerangka dengan baik
		d. Meyakini hanya ada satu solusi untuk menyelesaikan masalah tanpa pengkajian terlebih dahulu	d. Meyakinkan ada lebih dari satu solusi untuk menyelesaikan masalah tanpa mencari terlebih dahulu	d. Meyakinkan ada lebih dari satu solusi untuk menyelesaikan masalah dengan mencari terlebih dahulu	d. Meyakinkan ada lebih dari satu solusi untuk menyelesaikan masalah dan berdiskusi dan menyelidiki teknologi yang akan dibuat

<i>Kemampuan</i>	<i>Tahapan</i>	<i>Perancang level pemula (novice) 1</i>	<i>Perancang level tumbuh (Intermediat e) 2</i>	<i>Perancang level berkembang (Developing designer) 3</i>	<i>Perancang level lanjutan (Informed designer) 4</i>
	Membangun pengetahuan berdasarkan hasil kajian terhadap masalah	Tidak melakukan kajian/mencari terhadap masalah untuk mencari solusi	Mulai melakukan kajian/mencari sederhana terhadap masalah untuk dicari solusinya	Melakukan kajian dengan baik dan mencari solusi untuk permasalahan yang ada	Melakukan kajian dengan baik pada suatu masalah untuk mencari solusi dengan mengumpulkan informasi yang terkait
<i>Design</i>	Menghasilkan gagasan	Membuat desain dengan satu ide tetapi tidak mengembangkan gagasan	Membuat desain dengan menggunakan satu gagasan dan ingin mengembangkan gagasan	Membuat desain dengan menggunakan satu gagasan dan mengembangkan secara sederhana	Membuat desain dengan menggunakan lebih dari satu gagasan dan mengembangkannya dengan baik
	Mengembangkan gagasan	a. Mengusulkan gagasan ide namun tidak menggambaran gagasan	a. Mengusulkan gagasan ide dengan menggambaran gagasan dengan menggunakan kata-kata saja	a. Mengusulkan gagasan ide dengan menggunakan menggambaran dengan menggunakan kata-kata dan gambar	a. Mengusulkan gagasan ide dengan menggunakan menggambaran dan menggunakan kata-kata dan menunjukkan suatu benda
		b. Mengusulkan gagasan ide yang dinilai namun tidak dapat bekerja jika dilaksanakan	b. Mengusulkan gagasan ide yang dinilai kemungkinan dapat bekerja jika dilaksanakan	b. Mengusulkan gagasan yang dinilai dapat bekerja dengan cukup baik jika dilaksanakan	b. Mengusulkan gagasan yang dinilai dapat bekerja dengan baik jika dilaksanakan

<i>Kemampuan</i>	<i>Tahapan</i>	<i>Perancang level pemula (novice) 1</i>	<i>Perancang level tumbuh (Intermediat e) 2</i>	<i>Perancang level berkembang (Developing designer) 3</i>	<i>Perancang level lanjutan (Informed designer) 4</i>
	Mempertimbangkan pilihan dan membuat keputusan	a. Mengabaikan kriteria pembuatan desain	a. Kurang baik dalam memenuhi kriteria pembuatan desain	a. Cukup baik dalam memenuhi kriteria pembuatan desain	a. Baik dalam memenuhi kriteria pembuatan desain
		b. Tidak mengetahui sama sekali kendala yang mungkin dihadapi saat pembuatan desain	b. Hanya menebak kendala yang mungkin dihadapi saat pembuatan desain	b. Cukup memahami kendala yang mungkin dihadapi selama pembuatan desain	b. Baik dalam memahami kendala yang terjadi selama pembuatan desain
<i>Create</i>	Melakukan eksperimen	a. Tidak menyiapkan alat dan bahan untuk membuat prototype/produk	a. Menyiapkan alat dan bahan untuk membuat prototype/produk dengan kurang lengkap	a. Menyiapkan alat dan bahan untuk membuat prototype/produk dengan cukup lengkap	a. Menyiapkan alat dan bahan untuk membuat prototype dengan lengkap
		b. Tidak membuat prosedur pembuatan prototype/produk	b. Membuat prosedur pembuatan prototype/produk namun tidak tepat	b. Membuat prosedur pembuatan prototype/produk namun tidak lengkap	b. Membuat prosedur pembuatan prototype/produk sangat sesuai dengan desain

<i>Kemampuan</i>	<i>Tahapan</i>	<i>Perancang level pemula (novice) 1</i>	<i>Perancang level tumbuh (Intermediate) 2</i>	<i>Perancang level berkembang (Developing designer) 3</i>	<i>Perancang level lanjutan (Informed designer) 4</i>
<i>Test</i>	Menemukan bagian yang bermasalah dalam proses yang dilakukan	a. Tidak fokus dan tidak memberikan penjelasan mengapa saat pembuatan desain terjadi masalah	a. Kurang fokus saat memberikan penjelasan saat pembuatan desain	a. Cukup fokus saat memberikan penjelasan pembuatan desain	a. Fokus saat memberikan penjelasan pembuatan desain
		b. Tidak mengusulkan cara-cara untuk menyelesaikan pembuatan desain	b. Mengusulkan cara-cara yang kurang efektif untuk menyelesaikan pembuatan desain	b. Mengusulkan cara-cara yang cukup efektif untuk menyelesaikan pembuatan desain	b. Mengusulkan cara-cara yang efektif untuk menyelesaikan pembuatan desain
<i>Merfleksikan proses</i>		a. Tidak melakukan refleksi terhadap pembuatan desain yang dibuat	a. Kurang melakukan refleksi terhadap pembuatan desain yang dibuat	a. Cukup melakukan refleksi terhadap pembuatan desain yang dibuat	a. Melakukan refleksi terhadap pembuatan desain yang dibuat
		b. Tidak membuat kesimpulan dari awal hingga akhir pembuatan desain	b. Sedikit membuat kesimpulan dari awal hingga akhir pembuatan desain	b. Cukup membuat kesimpulan dari awal hingga akhir pembuatan desain	b. Membuat kesimpulan dari awal hingga akhir saat pembuatan desain

Berdasarkan Tabel 1 kemampuan siswa dikategorikan ke dalam empat tingkatan, yaitu *novice* (pemula), *intermediate* (tumbuh), *developing designer* (berkembang), dan

informed designer (lanjutan). Proses analisis ini bertujuan untuk memperoleh kemampuan *Engineering Design Process* siswa dalam menerapkan pendekatan STEM melalui tahapan EDP.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan siswa dalam menerapkan *Engineering Design Process* (EDP) melalui pendekatan STEM terpadu pada pembelajaran energi terbarukan. Berdasarkan hasil aktivitas siswa, perkembangan kemampuan EDP dapat diamati melalui beberapa kriteria, yaitu *define the problem*, *research*, *imagine*, *plan*, *create*, *test and evaluate*, serta *communication*. Setiap pertemuan pembelajaran mengacu pada rubrik Crismond dan Adams (2012), yang mengelompokkan kemampuan siswa ke dalam empat kategori, yaitu *novice* (pemula), *intermediate* (tumbuh), *developing designer* (berkembang), dan *informed designer* (lanjutan)(Crismond & Adams, 2012). Pada pertemuan pertama, hasil observasi menunjukkan bahwa mayoritas kelompok masih berada pada kategori pemula, terutama pada kemampuan *Test and Evaluate* serta *Communication*, hasil observasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

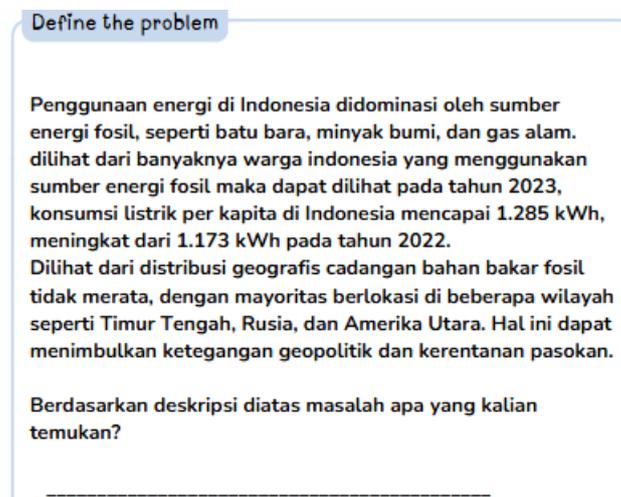
Tabel 2. Hasil observasi kemampuan Engineering Design Process (EDP) pertemuan 1

Kemampuan EDP		Pertemuan 1				
	Kelompok	I	II	III	IV	V
<i>Think</i>	<i>Define the problem</i>	Pemula	Berkembang	Tumbuh	Lanjutan	Pemula
	<i>Research</i>	Pemula	Berkembang	Pemula	Lanjutan	Tumbuh
<i>Design</i>	<i>Imagine</i>	Pemula	Pemula	Tumbuh	Tumbuh	Pemula
	<i>Plan</i>	Pemula	Tumbuh	Tumbuh	Berkembang	Tumbuh
<i>Create</i>	<i>Create</i>	Tumbuh	Pemula	Berkembang	Tumbuh	Pemula
<i>Test</i>	<i>Test and evaluate</i>	Pemula	Tumbuh	Pemula	Pemula	Pemula
	<i>Communication</i>	Pemula	Pemula	Tumbuh	Pemula	Pemula

Pada Tabel 2 terlihat bahwa setiap kelompok pada pertemuan 1 ini mencerminkan bahwa siswa belum terbiasa dengan refleksi terhadap proses desain maupun mengkomunikasikan gagasan dan hasil kerjanya secara sistematis. Namun demikian, terdapat indikasi awal perkembangan pada kemampuan *Define the Problem* dan *Plan*. Kelompok IV menunjukkan

performa yang mencolok, dengan keberhasilan mencapai kategori *informed designer* pada tahap awal pembelajaran. Mereka mampu merumuskan permasalahan secara rinci dan menyusun rencana kerja yang logis serta terstruktur. Sementara itu, kelompok I dan V cenderung terburu-buru dalam menyelesaikan masalah, tanpa melakukan analisis mendalam terhadap kemungkinan penyebab dan solusi yang mungkin. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan berpikir reflektif dan sistematis masih terbatas, dan siswa memerlukan pendampingan yang lebih intensif pada tahapan awal EDP.

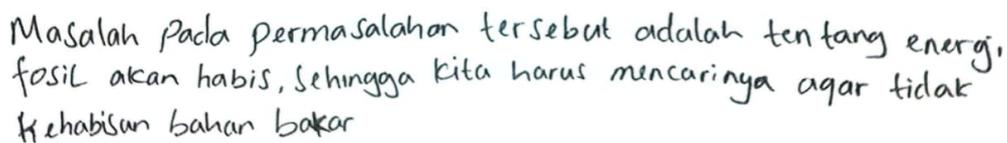
Pada pertemuan awal, topik yang dibahas adalah penggunaan energi fosil yang terus meningkat sehingga berpotensi menyebabkan krisis energi. Berdasarkan kondisi tersebut, siswa diberikan permasalahan yang harus diselesaikan melalui tahapan *Engineering Design Process* (EDP). Dari situ, terlihat bagaimana pertanyaan-pertanyaan dirancang untuk membantu siswa dalam mencari solusi atas permasalahan tersebut.



Gambar 1. Permasalahan pertemuan 1

Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa kelompok I menunjukkan bahwa meskipun mereka berada di kategori *novice*, terdapat potensi perkembangan pada kemampuan *Define the Problem* dan *Plan*. Siswa mulai menunjukkan upaya untuk mengidentifikasi masalah dan menyusun rencana kerja, meskipun belum sepenuhnya terstruktur. Kelompok IV telah menunjukkan analisis permasalahan yang cukup matang. Mereka mampu menyusun solusi desain berdasarkan pemahaman yang menyeluruh terhadap masalah energi terbarukan yang diangkat. Penjelasan mereka rinci dan mampu menghubungkan konsep ilmiah dengan solusi

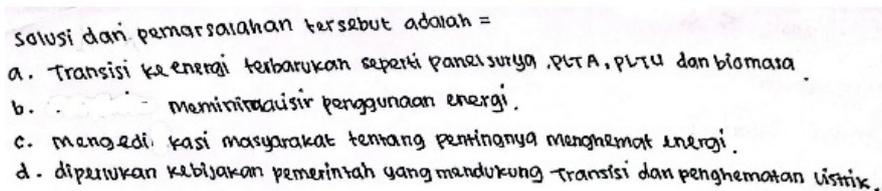
rekayasa. Kelompok yang sama juga menunjukkan perkembangan pada indikator *Imagine dan Plan*. Mereka mulai menyusun beberapa ide berdasarkan hasil identifikasi masalah, dan mengembangkan solusi ke dalam sketsa desain awal yang logis. Namun, pada indikator *Create*, kelompok IV masih berada di kategori *intermediate*. Desain yang mereka hasilkan masih terbatas pada bentuk visual, tanpa disertai penjelasan fungsi atau komponen yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada perkembangan dalam imajinasi dan perencanaan, implementasi ide ke dalam bentuk nyata masih perlu ditingkatkan. Pada hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2 pada level pemula kelompok 1 pada define the problem yang masih dalam kategori pemula



Masalah pada permasalahan tersebut adalah tentang energi, fosil akan habis, sehingga kita harus mencarinya agar tidak kehabisan bahan bakar

Gambar 2. Level pemula kelompok 1

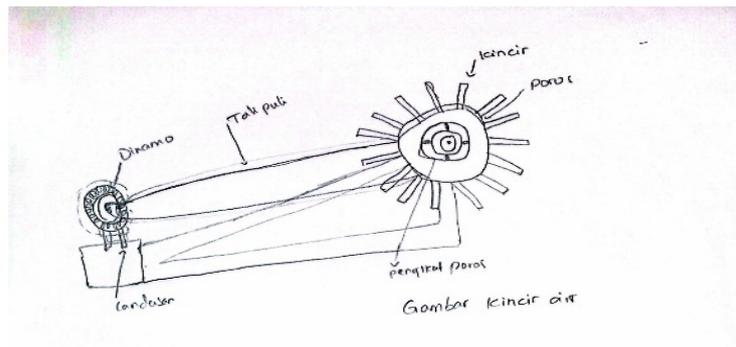
Pada kelompok I ini terlihat bahwa mereka masih dalam kategori pemula yang dimana mereka menyelesaikan permasalahan dengan terburu-buru dan tidak membuat kerangka permasalahan tersebut dengan baik. Namun pada tahap selanjutnya mereka mulai berkembang dengan signifikan, dalam tahap *imagine dan plan* ini terlihat pada Gambar 3 berikut.



Solusi dari permasalahan tersebut adalah =
a. Transisi ke energi terbarukan seperti panas surya, PLTA, PLTU dan biomasa.
b. Meminimalisir penggunaan energi.
c. Mengedukasi masyarakat tentang pentingnya menghemat energi.
d. Diperlukan kebijakan pemerintah yang mendukung transisi dan penghematan listrik.

Gambar 3. Level berkembang kelompok 4

Imagine dan plan ini mereka mulai menyusun ide apa saja yang akan mereka buat berdasarkan permasalahan yang mereka temukan dengan menyusun beberapa solusi yang mereka berikan akan menjadi sebuah desain, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Level tumbuh kelompok 4

Desain yang mereka hasilkan masih terbatas pada bentuk visual, tanpa disertai penjelasan fungsi atau komponen yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada perkembangan dalam imajinasi dan perencanaan, implementasi ide ke dalam bentuk nyata masih perlu ditingkatkan.

Pada pertemuan kedua, tampak adanya peningkatan kemampuan siswa pada beberapa kemampuan dapat dilihat pada Tabel 3.

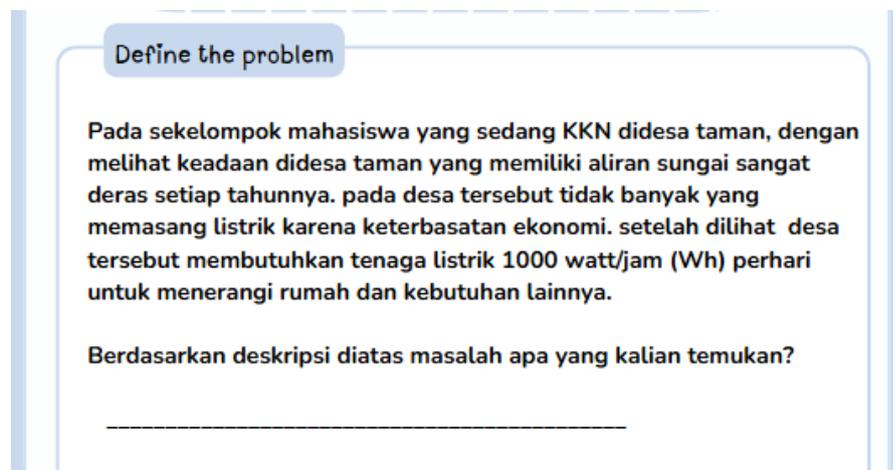
Tabel 3. Hasil observasi kemampuan *Engineering Design Process* (EDP) pertemuan 2

Kemampuan EDP		Pertemuan 2				
Kelompok		I	II	III	IV	V
Think	Define the problem	Pemula	berkembang	Pemula	Lanjutan	Tumbuh
	Research	Tumbuh	berkembang	Tumbuh	lanjutan	Tumbuh
Design	Imagine	Tumbuh	Tumbuh	Pemula	Pemula	Tumbuh
	Plan	Pemula	Berkembang	Tumbuh	Tumbuh	Tumbuh
Create	Create	Berkembang	Pemula	Tumbuh	Tumbuh	Tumbuh
Test	Test and evaluate	Pemula	Tumbuh	Tumbuh	Pemula	Tumbuh
	Communication	Tumbuh	Pemula	Pemula	Pemula	tumbuh

Secara umum, sebagian kelompok mulai beranjak dari kategori pemula ke tumbuh dan berkembang, khususnya pada kemampuan *Research* dan *Create*. Kelompok II dan IV menunjukkan peningkatan signifikan dalam hal pencarian informasi dan pengembangan ide. Mereka melakukan diskusi kelompok yang lebih terstruktur, menggunakan referensi dari berbagai sumber untuk merumuskan solusi terhadap masalah energi yang dibahas. Namun, kemampuan *Imagine* dan *Communication* masih menjadi tantangan. Sebagian besar ide yang dikemukakan siswa masih bersifat sederhana dan belum dikembangkan secara mendalam.

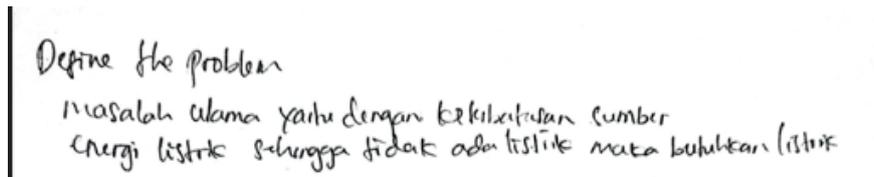
Dokumentasi proses pun belum konsisten, dan presentasi lisan maupun tertulis belum menunjukkan struktur yang sistematis. Kelemahan ini dapat dihubungkan dengan keterbatasan pengalaman siswa dalam menerapkan pembelajaran berbasis proyek dan pendekatan STEM sebelumnya. Dibutuhkan lebih banyak latihan dalam mengekspresikan ide secara eksploratif serta menyampaikan hasil kerja dengan format ilmiah.

Pada pertemuan yang kedua ini, topik yang dibahas adalah pemanfaatan potensi energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah yang keterbatasan energi. Berdasarkan kondisi tersebut siswa diberikan permasalahan yang harus diselesaikan melalui tahapan Engineering Design Process (EDP). Dari situ, terlihat bagaimana pertanyaan-pertanyaan dirancang untuk membantu siswa dalam mencari solusi atas permasalahan tersebut.



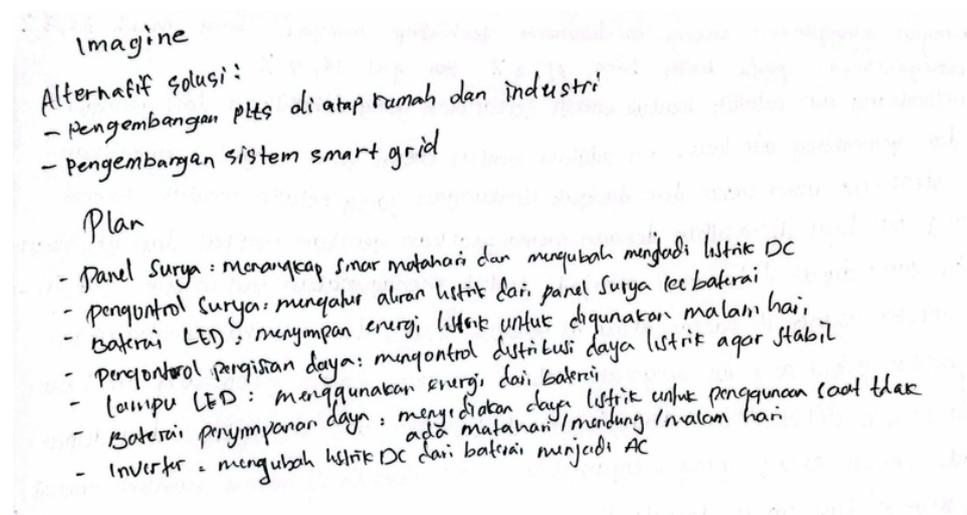
Gambar 5. Permasalahan pertemuan 2

Berdasarkan hasil pada pertemuan kedua, terlihat adanya peningkatan kemampuan siswa dalam menerapkan tahapan EDP, meskipun dengan perkembangan yang berbeda anatar kelompok dan indikator. Hal yang menunjukkan adanya peningkatan pada aspek *Research*, *Plan*, dan *Create*. Kelompok II dan IV menunjukkan perkembangan signifikan dalam pencarian informasi dan perencanaan desain. Namun, indikator *Imagine* dan *Communication* masih tergolong rendah, menandakan siswa belum optimal dalam mengembangkan ide kreatif dan menyampaikan gagasan secara terstruktur. Secara umum, siswa mulai terbiasa berpikir sistematis dalam menyusun solusi, tetapi masih membutuhkan penguatan dalam aspek kreativitas dan komunikasi ilmiah. Pada hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 pada level pemula kelompok 1 dan kelompok 3 pada *define the problem* yang masih dalam kategori pemula.



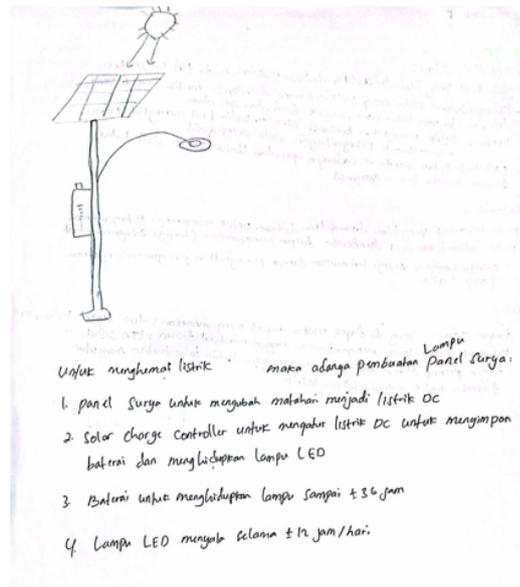
Gambar 6. Level pemula kelompok 1

Pada kelompok I ini terlihat bahwa mereka sudah melakukan diskusi dengan baik, namun mereka menyelesaikan permasalahan tersebut tidak dengan terstruktur mereka lebih langsung menyelesaikan permasalahan tanpa mencari tahu solusi terkait permasalahan tersebut maka dalam hal ini masih dalam kategori pemula. Namun pada tahap selanjutnya mereka mulai berkembang dengan signifikan, dalam tahap *imagine* dan *plan* ini terlihat pada Gambar 7 dibawah.



Gambar 7. Level tumbuh kelompok 3

Pada *Imagine* dan *plan* ini mereka mulai menyusun ide apa saja yang akan mereka buat berdasarkan permasalahan yang mereka temukan dengan menyusun beberapa solusi yang mereka berikan akan menjadi sebuah desain, seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Level berkembang kelompok 1

Desain yang mereka hasilkan sudah baik karena menyertakan penjelasan fungsi atau komponen yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa mereka sudah ada perkembangan dalam imajinasi dan perencanaan, implementasi ide kedalam bentuk nyata yang masih perlu di tingkatkan kembali. Sedangkan pada pertemuan terakhir ini perkembangan siswa masih merata meskipun sudah melakukan tiga kali pertemuan, hal ini dapat dilihat pada hasil observasi pertemuan ketiga ini pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil observasi kemampuan *Engineering Design Process* (EDP) pertemuan 3

Kemampuan EDP		Pertemuan 3				
Kelompok		I	II	III	IV	V
Think	<i>Define the problem</i>	Berkembang	Berkembang	Tumbuh	Lanjutan	Tumbuh
	<i>Research</i>	Tumbuh	Tumbuh	Berkembang	Lanjutan	Tumbuh
Design	<i>Imagine</i>	Tumbuh	Pemula	Tumbuh	Pemula	Tumbuh
	<i>Plan</i>	Pemula	Pemula	Tumbuh	Tumbuh	Berkembang
Create	<i>Create</i>	Tumbuh	Pemula	Berkembang	Tumbuh	Tumbuh
Test	<i>Test and evaluate</i>	Tumbuh	Tumbuh	Pemula	Pemula	Tumbuh
	<i>Communication</i>	Tumbuh	Pemula	Pemula	Tumbuh	Tumbuh

Pertemuan ketiga menunjukkan peningkatan yang lebih merata pada hampir seluruh kelompok. Pemahaman siswa terhadap konsep energi alternatif terlihat semakin matang, tercermin dari peningkatan performa pada kemampuan *Define the Problem* dan *Research*. Kelompok IV dan I berhasil menunjukkan kemajuan signifikan. Bahkan, kelompok IV kembali mencatat prestasi sebagai satu-satunya kelompok yang mencapai kategori lanjutan pada kemampuan *Research*. Dalam kemampuan *Imagine*, sebagian kelompok mulai menampilkan kreativitas yang lebih baik dalam merancang prototipe, meskipun kualitas visualisasi ide masih perlu ditingkatkan. Pada tahap *Test and Evaluate*, sebagian kelompok masih kesulitan untuk menguji dan mengevaluasi hasil desain secara sistematis. Evaluasi yang dilakukan umumnya masih bersifat deskriptif, belum mengacu pada kriteria performa yang terukur. Sementara itu, kemampuan *Communication* menunjukkan perkembangan yang belum signifikan. Masih ditemukan kekurangan dalam kemampuan siswa dalam menyampaikan ide dan refleksi hasil pembelajaran secara tertulis. Hal ini menunjukkan bahwa aspek komunikasi ilmiah perlu mendapat perhatian khusus dalam implementasi pembelajaran berbasis STEM.

Pada pertemuan yang terakhir atau ketiga ini, topik yang dibahas adalah kebutuhan energi listrik di daerah pesisir menggunakan sumber energi terbarukan, yaitu energi angin. Berdasarkan kondisi tersebut siswa diberikan permasalahan yang harus diselesaikan melalui tahapan *Engineering Design Process* (EDP). Dari situ, terlihat bagaimana pertanyaan-pertanyaan dirancang untuk membantu siswa dalam mencari solusi atas permasalahan tersebut.

Berdasarkan hasil pada pertemuan kedua, terlihat adanya peningkatan pada kemampuan siswa dalam *Define the Problem* dan *Research* menunjukkan peningkatan signifikan, dengan sebagian besar kelompok berada pada kategori berkembang hingga lanjutan. Indikator *Create* dan *Plan* juga mengalami kemajuan, meskipun beberapa kelompok masih di tingkat pemula. Sementara itu, *Imagine* dan *Test and Evaluate* masih perlu ditingkatkan karena belum stabil di semua kelompok. Kemampuan *Communication* mulai membaik, ditunjukkan oleh lebih banyak kelompok yang mencapai kategori tumbuh. Secara keseluruhan, siswa semakin terbiasa berpikir sistematis, namun masih perlu penguatan dalam aspek kreativitas dan evaluasi. Pada hal ini terlihat di Gambar 9 yang menunjukkan tahap *define the problem* pada level lanjutan karena mereka sudah mulai terbiasa dalam menyelesaikan permasalahan.

Define the Problem → Setelah berdiskusi maka kami menemukan permasalahannya yaitu mereka terlalu banyak memiliki kebutuhan namun ekonomi mereka tidak bisa mencukupi sehingga salah satunya kincir angin untuk penerangan di sebuah desa tersebut.

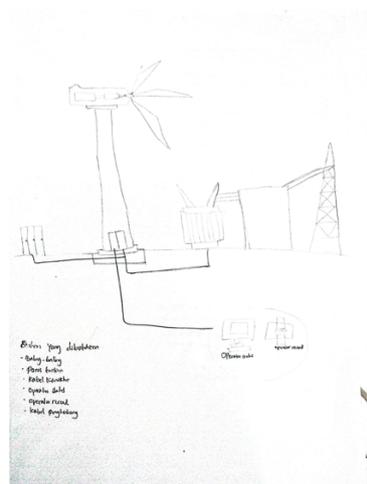
Gambar 9. Level lanjutan kelompok 4

Pada hasil tersebut dapat dilihat bahwa mereka sudah mulai terbiasa menyelesaikan masalah sehingga mereka sudah mengetahui bagaimana menyelesaikan masalah dan memberikan solusi terkait permasalahan yang ada. Berdasarkan hasil tersebut mereka termasuk dalam kategori lanjutan. Sedikit ada penurunan dalam tahap tahap *imagine* dan *plan* ini mereka masih dalam tahap pemula hingga tumbuh dapat dilihat pada gambar 7 dibawah.

Imagine → jika anginnya besar kita dapat membuat dengan secara nyata dengan melihat seceling apakah dapat menggunakan kincir angin di sekitar
Plan → membuat kincir angin namun kami tidak mengetahui apa saja kriteria yang dibuat

Gambar 10. Level tumbuh kelompok 3

Pada *Imagine* dan *plan* ini mereka harusnya sudah mulai menyusun ide apa saja yang akan mereka buat berdasarkan permasalahan yang mereka temukan dengan menyusun beberapa solusi yang mereka berikan akan menjadi sebuah desain, namun mereka tidak menyusun dengan terstruktur. Mereka lebih memberikan penjelasan secara langsung untuk memberikan solusi yang akan dibuat menjadi sebuah desain, seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Level berkembang kelompok 3

Desain yang mereka hasilkan sudah baik karena menyertakan penjelasan komponen yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa mereka sudah ada perkembangan dalam imajinasi dan perencanaan, implementasi ide kedalam bentuk nyata yang masih perlu di tingkatkan kembali. Jika ditinjau dalam jangka panjang dalam tiga kali pertemuan, terlihat bahwa adanya pola peningkatan kemampuan siswa yang berlangsung secara konsisten, meskipun tidak terjadi pada semua kelompok dan tidak seluruh kemampuan. Tahap awal *Define The Problem* dan *Research* ini menunjukkan perkembangan yang paling pesat, dari awalnya pemula mereka dapat berkembang menjadi lanjutan. Pada perkembangan yang sangat pesat ini karena mereka sudah terbiasa menyelesaikan permasalahan dan mencari informasi pada permasalahan untuk mereka jawab dengan berbasis teks atau informasi yang eksplisit. Sebaliknya, pada tahapan yang menuntut kemampuan berpikir kreatif, seperti tahap *Imagine* dan *Create*, serta pada aspek reflektif dan komunikasi, perkembangan kemampuan siswa cenderung berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan tahapan sebelumnya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingkat kompleksitas kognitif yang lebih tinggi pada tahap-tahap tersebut, yang tidak hanya memerlukan pemahaman terhadap informasi, tetapi juga kemampuan untuk menghasilkan ide orisinal, melakukan evaluasi terhadap proses berpikir, dan menyampaikan gagasan secara efektif.

Hal ini sejalan dengan temuan Crismond & Adams, (2012), yang menyatakan bahwa siswa pemula sering kesulitan menghubungkan ide desain dengan prinsip ilmiah dan tidak terbiasa melakukan evaluasi sistematis. Data yang dikumpulkan menunjukkan bahwa kemampuan siswa dalam kategori pemula dan tumbuh menurun dari pertemuan pertama ke ketiga, sementara kategori berkembang dan lanjutan meningkat secara signifikan, terutama pada kelompok yang menunjukkan kerjasama yang baik dan keterlibatan aktif dalam proses diskusi. Pada hal ini dapat dikuatkan pada penemuan Belland et al., (2006), menunjukkan bahwa dengan keterampilan identifikasi masalah dan pencarian informasi merupakan fondasi penting dalam problem-based learning. Ketika siswa diberi kesempatan untuk mengeksplorasi isu yang relevan dan didorong untuk berpikir mandiri, mereka cenderung mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Belland et al., 2006). Namun pada hasil ini menunjukkan bahwa tanpa adanya bimbingan guru yang konsisten, siswa masih kesulitan dalam mengembangkan ide desain yang kompleks dan masih dalam kesulitan melakukan refleksi sistematis. Hal ini konsisten dengan pendapat Jolly (2016) yang menyatakan bahwa keberhasilan

pendekatan STEM sangat tergantung pada kualitas fasilitasi oleh guru (Jolly, 2016). Pada penelitian ini juga sejalan dengan penelien trivena 2020 juga mendukung hal ini, dimana implementasi pendekatan STEM yang disertai dengan bimbingan pedagogik yang kuat terbukti mampu meningkatkan kemampuan *Engineering Design Process* peserta didik secara bertahap. Trivena menekankan bahwa efektivitas penerapan EDP tidak hanya ditentukan oleh desain pembelajarannya, tetapi juga oleh peran aktif guru dalam memberikan *scaffolding* dan penguatan pada setiap tahapan proses berpikir desain (Trivena et al., 2022).

Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa keterlibatan aktif siswa dalam kerja kelompok menjadi faktor penentu utama keberhasilan proses EDP. Kelompok yang menunjukkan kolaborasi dan komunikasi internal yang baik, cenderung mengalami peningkatan signifikan dalam seluruh indikator. Hal ini menunjukkan pentingnya strategi pedagogi kolaboratif, termasuk penerapan teknik seperti peer-review, diskusi terfokus, dan rotasi peran dalam kelompok. Strategi ini tidak hanya memperkuat pemahaman konsep, tetapi juga mendorong keterampilan interpersonal dan tanggung jawab individu dalam menyelesaikan proyek bersama. Dari sudut pandang kurikulum, hasil penelitian ini memberikan implikasi terhadap desain pembelajaran di tingkat sekolah menengah. Kurikulum perlu mengintegrasikan pendekatan STEM secara eksplisit, tidak hanya dalam konten, tetapi juga dalam metode pembelajaran dan penilaian. LKPD sebagai perangkat penting dalam penelitian ini dengan pembelajaran yang harus dirancang untuk mendorong eksplorasi, pemikiran kritis, dan evaluasi diri. Instrumen penilaian juga perlu mencakup aspek proses, seperti kemampuan identifikasi masalah, logika desain, kolaborasi, dan komunikasi. Secara praktik, guru memegang peran kunci dalam membimbing siswa melalui proses EDP. Guru tidak hanya sebagai fasilitator, tetapi juga sebagai mentor yang mampu memberikan *scaffolding* sesuai kebutuhan masing-masing kelompok. Pendekatan diferensiasi dalam bimbingan menjadi penting, mengingat latar belakang kemampuan dan gaya belajar siswa yang beragam. Selain itu, pemberian umpan balik formatif secara rutin juga sangat dianjurkan untuk memperkuat proses refleksi siswa.

4. Simpulan

Penerapan pendekatan STEM terpadu dalam pembelajaran konsep energi terbarukan terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan siswa dalam menjalankan tahapan *Engineering Design Process* (EDP). Selama tiga kali pertemuan, terjadi perkembangan

signifikan pada kemampuan siswa, yang semula berada pada kategori pemula kemudian meningkat secara bertahap menjadi tumbuh, berkembang, hingga mencapai kategori lanjutan. Peningkatan paling menonjol tampak pada indikator Define the Problem, Research, dan Create, yang menunjukkan bahwa siswa mulai terbiasa berpikir sistematis, kritis, serta kreatif dalam merancang solusi atas masalah nyata. Melalui keterlibatan aktif dalam setiap tahap EDP, siswa tidak hanya memahami konsep energi terbarukan secara teoritis, tetapi juga mampu mengaitkannya dengan konteks nyata melalui proses desain teknik yang aplikatif. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis STEM dengan integrasi EDP memberikan kontribusi positif terhadap pembentukan keterampilan abad 21, terutama dalam berpikir lintas disiplin, problem solving berbasis rekayasa, serta kolaborasi dalam tim. Dengan demikian, terdapat hubungan yang positif dan signifikan antara penerapan pembelajaran STEM terpadu dan peningkatan kemampuan siswa dalam tahapan Engineering Design Process.

Berdasarkan temuan penelitian, disarankan agar pendekatan STEM terpadu yang mengintegrasikan seluruh tahapan EDP dapat diterapkan secara lebih luas dalam pembelajaran fisika di sekolah, khususnya pada materi yang berkaitan dengan isu-isu global seperti energi terbarukan. Guru perlu diberikan pelatihan intensif mengenai implementasi pendekatan ini agar mampu merancang pembelajaran yang mendorong siswa untuk berpikir secara sistematis, kritis, dan kontekstual. Selain itu, sekolah dan pemangku kebijakan pendidikan diharapkan mendukung penyediaan sumber belajar dan fasilitas yang relevan untuk kegiatan perancangan teknik dan proyek berbasis masalah. Penelitian selanjutnya dapat memperluas cakupan pada tingkat jenjang pendidikan lain atau topik-topik lain yang relevan, guna melihat konsistensi efektivitas pendekatan ini dalam membentuk kompetensi rekayasa dan keterampilan abad 21 secara menyeluruh.

Daftar Pustaka

- Adolph, R. (2016). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer Science & Business Media.
- Belland, B. R., Ertmer, P. A., & Simons, K. D. (2006). Perceptions of the Value of Problem-based Learning among Students with Special Needs and Their Teachers. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(2). <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1024>
- Bybee, R. W. (2013). *The Case for Education Challenges and Opportunities*.
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The informed design teaching and learning matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738–797. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>

- Hasanah, A., & Haryadi, H. (2022). Tinjauan Kurikulum Merdeka Belajar dengan Model Pendidikan Abad 21 dalam Menghadapi Era Society 5.0. *GHANCARAN: Jurnal Pendidikan Bahasa Dan Sastra Indonesia*, 266–285. <https://doi.org/10.19105/ghancaran.vi.7595>
- Jolly, A. (2016). *STEM by Design*.
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Lin, K. Y., Wu, Y. T., Hsu, Y. T., & Williams, P. J. (2021). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 1–15.
- Meyer, M. W., & Norman, D. (2020). Changing Design Education for the 21st Century. *She Ji*, 6(1), 13–49. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2019.12.002>
- Murni, S. S., & Suryanto, A. (2021). Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan HOMER (Studi Kasus PLTMH Parakandowo Kabupaten Pekalongan). *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JuLIET)*, 1(2), 34–38. <https://doi.org/10.22146/juliet.v1i2.61282>
- Nasbey, H. (2024). *Interaktif Digital Modul Berbasis Stem - Problem Based Learning (Pbl) Pada Materi Energi Terbarukan Untuk Siswa Sma. XII*, 167–174. <https://doi.org/10.21009/03.1201.pf24>
- Rahayu, R., Iskandar, S., & Abidin, Y. (2022). Inovasi Pembelajaran Abad 21 Dan Penerapannya Di Indonesia Restu Rahayu 1 □ , Sofyan Iskandar 2 , Yunus Abidin 3. *Jurnal Basicedu*, 6(2), 2099–2104.
- Satriawan, M., Kontekstual, P., & Eksperimen, K. (2022). *Navigation Physics : Journal of Physics Education Pembelajaran Fisika Tentang “ Sumber Energi Terbarukan ” Berbantuan Prototipe Konverter Sistem Reduksi Ganda Meningkatkan Hasil Belajar Siswa. 4*.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Pendidikan Kuantitatif Kualitatif dan R&D*.
- Syukri, M., Soewarno, S., Halim, L., & Mohtar, L. E. (2018). The impact of engineering design process in teaching and learning to enhance students' science problem-solving skills. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(1), 66–75. <https://doi.org/10.15294/jpii.v7i1.12297>
- Trivena, T., Kristen, U., & Toraja, I. (2022). *PCK (Pedagogical Content Knowledge) Guru Dalam Mengimplementasikan STEM (Science, Technology, Engineering And Mathematics) Dan Dampaknya Terhadap Kemampuan Engineering Design Process Peserta Didik Sekolah Dasar. June*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26597.47844>
- Utami, I. S., Septiyanto, R. F., Wibowo, F. C., & Suryana, A. (2017). *Pengembangan Stem-A (Science, Technology, Engineering, Mathematic And Animation) Berbasis Kearifan Lokal Dalam Pembelajaran Fisika. 05(October)*, 153–159. <https://doi.org/10.24042/jipf>
- Widiastuti, I., & Budiyanto, C. W. (2022). Pembelajaran STEM Berbasis Engineering Design Process untuk Siswa Sekolah Alam di Kabupaten Klaten. *DEDIKASI: Community Service Reports*, 4(2), 121–132. <https://doi.org/10.20961/dedikasi.v4i2.64923>