



Pengaruh Pembelajaran STEAM Solar Boat Puzzle terhadap Literasi Energi dan Engineering Design Process Siswa SMP

Titis Yitno Isain¹, Wahono Widodo², Eko Hariyono³

^{1,2,3}Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

E-mail: yonisatitis@gmail.com

Article Info	Abstract
Article History Received: 2025-12-08 Revised: 2026-01-15 Published: 2026-02-03 Keywords: <i>Energy Literacy; Engineering Design Process; STEAM; Project-Based Learning; Renewable Energy.</i>	This study examines the influence of STEAM learning based on the Solar Boat Puzzle project on energy literacy and Engineering Design Process (EDP) practices of junior high school students. The quasi-experimental study used a non-equivalent control group design in 60 students (30 experiments; 30 controls). Energy literacy was measured through a 4-point Likert scale pre-post questionnaire (attitude and behavior), while EDP was assessed using a six-stage rubric (E1-E6) and a prototype test sheet. The results showed that the increase in energy literacy in the experimental group was higher than in the control group, but the difference in gain was not significant ($p = 0.247$). The experimental group's EDP score was in the "proficient" category, with the strongest achievement in defining the problem, while planning (E3) and data-driven redesign plans (E6) were relatively low. These findings indicate that STEAM Solar Boat learning has the potential to strengthen energy literacy as well as engineering competence, but requires more targeted scaffolding to improve the quality of evidence-based planning and reasoning at the design optimization and learning transfer stages. This study confirms the contribution by integrating energy literacy measurement and EDP assessment simultaneously in a single renewable energy project intervention.
Artikel Info	Abstrak
Sejarah Artikel Diterima: 2025-12-08 Direvisi: 2026-01-15 Dipublikasi: 2026-02-03 Kata kunci: <i>Literasi Energi; Engineering Design Process; STEAM; Pembelajaran Berbasis Proyek; Energi Terbarukan.</i>	Penelitian ini menguji pengaruh pembelajaran STEAM berbasis proyek Solar Boat Puzzle terhadap literasi energi dan praktik Engineering Design Process (EDP) siswa SMP. Penelitian quasi-eksperimental menggunakan desain non-equivalent control group pada 60 siswa (30 eksperimen; 30 kontrol). Literasi energi diukur melalui angket pre-post skala Likert 4 poin (sikap dan perilaku), sedangkan EDP dinilai menggunakan rubrik enam tahap (E1-E6) serta lembar uji prototipe. Hasil menunjukkan peningkatan literasi energi pada kelompok eksperimen lebih tinggi dibanding kelompok kontrol, namun perbedaan gain belum signifikan ($p = 0,247$). Skor EDP kelompok eksperimen berada pada kategori "mahir", dengan capaian paling kuat pada mendefinisikan masalah, sementara perencanaan (E3) dan rencana redesign berbasis data (E6) masih relatif rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa pembelajaran STEAM Solar Boat berpotensi menguatkan literasi energi sekaligus kompetensi rekayasa, tetapi membutuhkan scaffolding yang lebih terarah untuk meningkatkan kualitas perencanaan dan penalaran berbasis bukti pada tahap optimasi desain dan transfer pembelajaran. Studi ini menegaskan kontribusi dengan mengintegrasikan pengukuran literasi energi dan asesmen EDP secara simultan dalam satu intervensi proyek energi terbarukan.

I. PENDAHULUAN

Persoalan energi global yang berjalan seiring dengan dampak perubahan iklim mendesak transformasi pendidikan sains dan teknologi yang berfokus pada literasi energi. Literasi energi meliputi pemahaman konsep energi, kesadaran dampak lingkungan penggunaan energi fosil, serta kemampuan mengurangi pemborosan energi melalui kebiasaan sehari-hari (DeWaters & Powers, 2013; Bimastari et al., 2025). Pada jenjang SMP, pembelajaran STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) yang mengintegrasikan Engineering Design Process

(EDP) dianggap strategi menjanjikan untuk membangun literasi energi sekaligus keterampilan desain rekayasa (National Research Council, 2012; Oktapiani, 2025).

Pendekatan STEAM merupakan pembelajaran kontekstual yang mengajak peserta didik untuk mempelajari dan memahami fenomena-fenomena di lingkungan sekitar dan dalam kehidupan sehari-hari, sekaligus melatih kecakapan berpikir kritis, daya kreativitas, kerja kolaboratif, serta kemampuan komunikasi (Muminah & Suryaningsih, 2020; Quigley & Herro, 2019). Namun, penerapan STEAM juga

memiliki tantangan seperti kebutuhan pelatihan guru, kesiapan fasilitas, dan pengelolaan waktu pembelajaran, sehingga perlu perancangan aktivitas dan scaffolding yang jelas (Quigley & Herro, 2019; Widodo et al., 2024).

Solar Boat Puzzle adalah proyek STEAM yang menantang siswa merancang dan membangun perahu bertenaga panel surya. Proyek ini memberikan konteks nyata tentang energi terbarukan, transfer energi, dan optimasi desain—elemen penting dalam literasi energi (Sianturi et al., 2024; Tseng et al., 2013). Siswa menjalani siklus lengkap EDP: mendefinisikan masalah, menghasilkan ide, merencanakan, membuat prototipe, menguji, dan menganalisis hasil uji untuk merencanakan perbaikan desain (Doppelt, 2003; NGSS Lead States, 2013). Pada proyek Solar Boat, unsur Art diterapkan melalui perancangan tampilan/estetika prototipe, penyusunan bentuk dan tata letak komponen secara kreatif, serta presentasi produk, sehingga aktivitas proyek tidak hanya menekankan aspek teknis tetapi juga kreativitas dan komunikasi (Muminah & Suryaningsih, 2020; Yusnaeni et al., 2023).

Meskipun penelitian menunjukkan pembelajaran berbasis proyek STEAM efektif meningkatkan literasi energi dan keterampilan abad 21 (Honey & Kanter, 2013; Kolodner et al., 2003; Muzaini et al., 2024), belum banyak yang mengintegrasikan penilaian mendalam pada EDP dengan pengukuran literasi energi secara bersamaan. Penelitian ini bermaksud mengisi gap tersebut dengan menyelidiki bagaimana capaian EDP (khususnya pada tahap perencanaan dan redesign) berkorelasi dengan peningkatan literasi energi. Lebih jauh lagi, integrasi instrumen penilaian yang terukur dan scaffolding yang kuat pada tahap perencanaan dan reasoning berbasis data menjadi kunci untuk maksimalkan transfer pembelajaran (Heryensi et al., 2025; Kasah et al., 2024; Lederman et al., 2013).

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah Apakah pembelajaran STEAM Solar Boat Puzzle dengan pendekatan Engineering Design Process dapat meningkatkan literasi energi (sikap dan perilaku) siswa SMP dibanding pembelajaran konvensional?

Tujuan Penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh pembelajaran STEAM Solar Boat terhadap literasi energi siswa (dimensi sikap dan perilaku).
2. Mendeskripsikan capaian Engineering Design Process pada kelompok eksperimen.

3. Mengaitkan hasil EDP dengan peningkatan literasi energi untuk memberikan rekomendasi perbaikan pembelajaran.

II. METODE PENELITIAN

1. Desain dan Partisipan

Penelitian ini menggunakan desain quasi-eksperimental pretest-posttest non-equivalent control group. Desain ini dipilih karena peneliti tidak melakukan pengacakan kelas, namun tetap membandingkan perubahan skor sebelum dan sesudah intervensi pada kelompok eksperimen dan kontrol. Sampel terdiri dari 60 siswa kelas VIII (usia 13–14 tahun) yang dibagi menjadi kelompok eksperimen ($n=30$; 5 kelompok proyek, 6 siswa/kelompok) dan kelompok kontrol ($n=30$). Intervensi berlangsung 8 minggu (2 jam pelajaran/minggu). Kedua kelompok homogen pada pretest literasi energi ($t(58)=0,78$; $p=0,44$).

2. Variabel dan Instrumen

Variabel bebas adalah pembelajaran STEAM Solar Boat Puzzle berbasis Engineering Design Process (EDP) pada kelompok eksperimen dibanding pembelajaran konvensional pada kelompok kontrol.

Variabel terikat meliputi:

1. Literasi energi diukur melalui angket Likert 4 skala ($SS=4$, $S=3$, $TS=2$, $STS=1$) yang mencakup dua dimensi: A1 (sikap/kepekaan energi; 10 item) dan A2 (perilaku/niat; 10 item). Item negatif (6, 8, 16, 19) diberi skor terbalik sehingga skor total berada pada rentang 20–80. Uji reliabilitas pada pilot ($n=50$) menunjukkan Cronbach's $\alpha=0,82$.
2. Capaian EDP diukur menggunakan rubrik analitik 4 level (1=awal, 2=berkembang, 3=mahir, 4=sangat mahir) pada enam aspek: E1 mendefinisikan masalah, E2 ideasi dan pemilihan desain, E3 perencanaan, E4 pembuatan prototipe, E5 uji dan analisis, serta E6 rencana redesign berbasis data. Rubrik mengacu pada kerangka NGSS (Next Generation Science Standards Lead States, 2013) dan dinilai oleh dua penilai independen, dengan reliabilitas antar-penilai Cohen's $\kappa=0,81$ (menggambarkan kesepakatan penilai di luar peluang kebetulan).

3. Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam tiga fase: pretest (minggu 1), intervensi (minggu 2–7), dan posttest (minggu 8).

- a) Pretest (minggu 1): kedua kelompok mengisi angket literasi energi A1-A2 (± 20 menit).
- b) Intervensi (minggu 2-7):
 - 1) Kelompok eksperimen: mengikuti proyek STEAM Solar Boat Puzzle dengan tahapan EDP berurutan. Kegiatan meliputi penguatan konsep energi terbarukan dan panel surya; perumusan masalah serta kriteria-kendala desain perahu (E1); ideasi dan pemilihan desain (E2); perencanaan yang memuat sketsa berlabel, ukuran, dan langkah kerja (E3); pembuatan prototipe (E4); pengujian di lintasan 1 m sebanyak 3 ulangan dengan pencatatan waktu tempuh dan stabilitas, diikuti analisis penyebab kinerja (E5); serta penyusunan rencana redesign yang spesifik berdasarkan data uji beserta prediksi dampaknya (E6).
 - 2) Kelompok kontrol: pembelajaran konvensional berupa ceramah dan praktikum energi sesuai kurikulum tanpa proyek dan tanpa penerapan EDP, dengan durasi setara 12 jam (2 jam/minggu $\times$ 6 minggu).
- c) Posttest (minggu 8): kedua kelompok kembali mengisi angket literasi energi; khusus kelompok eksperimen, capaian EDP dinilai berdasarkan portofolio proyek dan dokumen hasil uji prototipe.

4. Analisis Data

Angket Literasi Energi:

- a) Item negatif (6, 8, 16, 19) dibalik: skor $1 \leftrightarrow 4$, $2 \leftrightarrow 3$
- b) Skor per dimensi: A1 (item 1-10, rentang 10-40), A2 (item 11-20, rentang 10-40), Total (20-80)
- c) Perhitungan gain: $\Delta = \text{skor posttest} - \text{skor pretest}$
- d) Uji Mann-Whitney U untuk membandingkan gain eksperimen vs kontrol ($\alpha=0,05$); asumsi normalitas diuji Shapiro-Wilk

Rubrik EDP:

- a) Skor per kelompok = rata-rata kedua penilai independen
- b) Statistik: Mean, SD, min, max; kategorisasi 6-10 (rendah), 11-15 (berkembang), 16-20 (mahir), 21-24 (sangat mahir)
- c) Analisis profil per aspek E1-E6

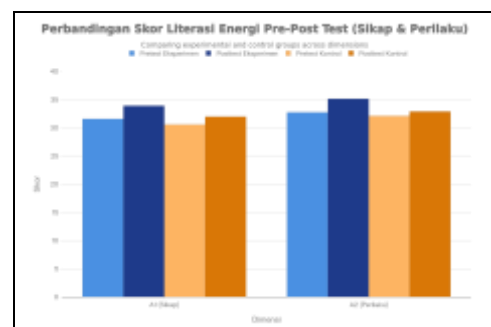
Integrasi: Hubungan EDP dengan gain literasi energi melalui analisis naratif. Hubungan capaian EDP dengan gain literasi

energi dianalisis secara naratif karena unit penilaian EDP berada pada level kelompok proyek, sedangkan literasi energi diukur pada level individu, sehingga korelasi langsung berisiko menimbulkan bias akibat ketidaksesuaian unit analisis. Selain itu, jumlah unit analisis pada level kelompok (5 kelompok) terbatas sehingga uji kuantitatif korelasional berpotensi tidak stabil. Oleh karena itu, integrasi dilakukan melalui penelusuran bukti portofolio (khususnya kualitas E3 dan E6) dan dikaitkan dengan pola gain literasi energi untuk mengidentifikasi mekanisme pembelajaran yang dominan.

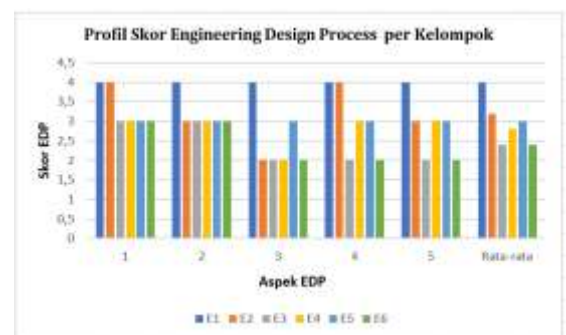
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian mencakup (1) peningkatan literasi energi berdasarkan angket pretest-posttest pada kelompok eksperimen dan kontrol di tunjukkan pada gambar 1, serta (2) capaian Engineering Design Process (EDP) pada kelompok eksperimen selama pembelajaran STEAM Solar Boat Puzzle ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 1. Perbandingan skor literasi energi pre-post test



Gambar 2. Profil skor rubrik Engineering Design Proses E1 – E6

Dokumentasi pelaksanaan proyek menunjukkan bahwa siswa terlibat aktif dalam perakitan prototipe (tahap E4) dan pengujian

prototipe (tahap E5) sebagai bukti keterlaksanaan intervensi. Dikumentasi di tunjukkan pada gambar 3 dan 4.

1. Hasil Angket Literasi Energi

Hasil angket literasi energi di sajikan pada Gambar 1 dan Tabel 1.

Tabel 1. Skor Literasi Energi Pre-Post Test (mean $\pm$ SD)

Pengamatan	Pretest Eks	Pretest Ctl	Posttest Eks	Posttest Ctl	Gain Eks	Gain Ctl	p*
A1 (Sikap)	31,57 $\pm 2,43$	30,57 $\pm 2,67$	33,98 $\pm 1,47$	31,97 $\pm 3,48$	2,33 $\pm 2,06$	1,40 $\pm 2,29$	0,41
A2 (Perilaku)	32,73 $\pm 3,37$	32,1 $\pm 3,28$	35,13 $\pm 1,20$	32,87 $\pm 4,21$	2,40 $\pm 3,59$	0,77 $\pm 5,10$	0,23
Total	64,30 $\pm 5,27$	62,67 $\pm 5,42$	69,03 $\pm 2,25$	64,83 $\pm 7,58$	4,73 $\pm 6,09$	2,17 $\pm 9,01$	0,25

* p = Mann-Whitney U test (gain Eks vs Ctl): $\alpha=0,05$

Sajian data ditunjukkan sebagai berikut:

a) Hasil A1 (Sikap/kepekaan energi):

Eksperimen (Eks): pretest 31,57 $\pm$ 2,43, posttest 33,9 $\pm$ 1,47, gain 2,33. Kontrol (Ctl): pretest 30,57 $\pm$ 2,67, posttest 31,97 $\pm$ 3,48, gain 1,4. p (gain Eks vs Ctl) = 0,41 (tidak signifikan pada $\alpha=0,05$).

b) Hasil A2 (Perilaku/niat):

Eksperimen (Eks): pretest 32,73 $\pm$ 3,37, posttest 35,13 $\pm$ 1,20, gain 2,4. Kontrol (Ctl): pretest 32,10 $\pm$ 3,28, posttest 32,87 $\pm$ 4,21, gain 0,77. p (gain Eks vs Ctl) = 0,23 (tidak signifikan pada $\alpha=0,05$).

c) Hasil skor Total (A1+A2):

Eksperimen (Eks): pretest 64,3 $\pm$ 5,27, posttest 69,03 $\pm$ 2,25, gain 4,73. Kontrol (Ctl):pretest 62,67 $\pm$ 5,42, posttest 64,83 $\pm$ 7,58, gain 2,17. p (gain Eks vs Ctl) = 0,25 (tidak signifikan pada $\alpha=0,05$).

2. Hasil Penilaian Engineering Design Process

Hasil Penilaian Engineering Design Process disajikan dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Skor Rubrik EDP per Kelompok

Kelompok	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Total	Kategori
1	4	4	3	3	3	3	20	Mahir
2	4	3	3	3	3	3	19	Mahir
3	4	4	2	3	3	2	18	Mahir
4	4	4	3	3	3	3	20	Mahir
5	4	4	2	3	3	2	18	Mahir
Rata-rata	4	3,2	2,4	2,8	3	2,4	17,8 $\pm$ 1,92	

Keterangan: E1-E6 = Aspek Engineering Design Process (1=rendah, 2=berkembang, 3=matih, 4=unggul matih). Skor total per kelompok adalah penjumlahan E1-E6.

Profil skor EDP per aspek (E1-E6) ditampilkan pada Gambar 2.

3. Dokumentasi Keterlaksanaan Aktivitas Proyek

Keterlaksanaan tahap pembuatan prototipe pada pembelajaran STEAM Solar Boat Puzzle diperlihatkan pada Gambar 3, yang menunjukkan siswa melakukan perakitan komponen dan penyesuaian struktur prototipe sesuai rancangan kelompok dengan pertimbangan estetika dan fungsionalitas. Selanjutnya, keterlaksanaan tahap pengujian prototipe ditunjukkan pada Gambar 4, yaitu proses uji prototipe Solar Boat berbasis panel surya sebagai bagian dari pengumpulan data performa untuk dianalisis pada tahap E5. Dengan demikian, data angket dan rubrik EDP didukung oleh bukti observasional bahwa proses pembelajaran berlangsung sesuai sintaks EDP (setidaknya pada tahap E4 dan E5) selama intervensi.



Gambar 3. Aktivitas perakitan prototipe Solar Boat oleh siswa pada tahap E4 (pembuatan prototipe) di kelas eksperimen



Gambar 4. Proses uji prototipe Solar Boat berbasis panel surya pada tahap E5 (uji dan analisis data) di kelas eksperimen.

B. Pembahasan

1. Pengaruh Pembelajaran STEAM Solar Boat pada Literasi Energi

Hasil angket menunjukkan peningkatan literasi energi pada kelompok eksperimen pada dimensi sikap/kepekaan (A1) dan perilaku/niat (A2). Namun, uji Mann-Whitney U terhadap gain menunjukkan perbedaan peningkatan antara kelompok eksperimen dan kontrol belum signifikan ($p_{A1}=0,406$; $p_{A2}=0,232$; $p_{\text{total}}=0,247$). Meski demikian, arah perubahan mengindikasikan kecenderungan positif karena gain total kelompok eksperimen ($\Delta=4,73$) lebih tinggi daripada kontrol ($\Delta=2,17$). Temuan ini konsisten dengan argumen bahwa pembelajaran berbasis proyek STEAM dapat memperkuat literasi energi melalui pengalaman autentik dan pemecahan masalah.

Beberapa mekanisme pembelajaran dapat menjelaskan kecenderungan tersebut. Proyek Solar Boat memberikan konteks nyata untuk dapat mengamati transformasi energi surya menjadi gerak, sehingga konsep energi tidak hanya dipelajari secara teoritis tetapi dialami melalui rancangan dan pengujian prototipe. Diskusi dan refleksi pada tahap perumusan masalah (E1) membuka ruang untuk menautkan isu energi global dengan pilihan energi terbarukan, yang relevan bagi pembentukan sikap (A1). Pada tahap ideasi dan perencanaan (E2-E3), siswa dihadapkan pada keputusan desain yang menuntut pertimbangan efisiensi dan losses, sehingga konsep energi berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan. Pada tahap uji dan analisis (E5), siswa berlatih membaca data uji untuk menilai kinerja, yang merupakan elemen penting dalam literasi energi karena mendorong keputusan berbasis bukti. Selain itu, integrasi unsur seni (Art) pada aspek estetika produk dan presentasi berpotensi memperkuat keterlibatan dan rasa kepemilikan siswa terhadap proyek, yang dapat mendukung motivasi untuk menyelesaikan rangkaian aktivitas desain.

2. Capaian EDP & Keterkaitan Literasi Energi

Profil EDP menunjukkan pola yang jelas: aspek E1 dan E5 relatif lebih tinggi, sedangkan E3 dan E6 relatif lebih rendah. Capaian E1 mengindikasikan siswa dapat merumuskan tujuan serta kriteria-kendala

desain, sedangkan capaian E5 menunjukkan praktik pengujian dan pencatatan hasil uji berjalan pada tingkat menengah. Dua tahap ini relevan dengan literasi energi karena menautkan pemahaman masalah energi dengan kebiasaan bernalar berbasis data.

Sebaliknya, rendahnya capaian pada E3 (perencanaan) dan E6 (redesign berbasis data) memberi petunjuk mengapa peningkatan literasi energi belum cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan yang signifikan. Perencanaan yang kurang terukur dapat menyebabkan proses konstruksi lebih improvisatif dan dokumentasi perubahan kurang lengkap, sehingga proses belajar sulit ditelusuri secara sistematis. Redesign yang belum spesifik dan belum kuat berbasis data juga membatasi "siklus iterasi" sebagai inti rekayasa, padahal iterasi dan argumentasi dari bukti sering menjadi kunci transfer dari aktivitas membuat produk ke pemahaman konseptual dan perubahan perilaku. Dengan kata lain, proyek telah memfasilitasi pengalaman langsung dan pengujian, tetapi penalaran eksplisit dari data menuju keputusan redesign masih perlu diperkuat agar manfaat literasi energi lebih maksimal.

3. Implikasi pembelajaran

Temuan ini menyarankan dua fokus perbaikan. Pertama, penguatan scaffolding untuk E3 melalui template perencanaan yang memaksa detail (sketsa berlabel, ukuran, daftar langkah, serta prediksi kinerja). Kedua, penguatan scaffolding untuk E6 melalui kerangka argumentasi berbasis data (temuan uji → kemungkinan penyebab → perubahan spesifik → prediksi dampak), sehingga siswa terbiasa menghubungkan data dengan keputusan desain. Selain itu, alokasi waktu untuk refleksi dan diskusi redesign perlu ditambah karena fase ini membutuhkan pemrosesan bukti yang lebih mendalam dibanding fase konstruksi.

4. Integrasi STEAM & Kreativitas

Pembelajaran STEAM dengan unsur Art (desain tampilan, penyusunan estetika prototipe, presentasi) mendorong engagement emosional-kognitif dan self-motivation siswa (Muminah & Suryaningsih, 2020). Integrasi seni dalam

proyek Solar Boat membuat siswa fokusnya tidak hanya pada hal-hal teknis, tetapi juga pada pengekspresian kreatif, sehingga meningkatkan perkembangan holistik: kognitif (pemecahan masalah teknis), emosional (rasa bangga produk sendiri), dan psikomotor (keterampilan konstruksi & desain) (Muminah & Suryaningsih, 2020).

5. Keterbatasan penelitian

Penelitian ini menggunakan desain quasi-eksperimental non-ekivalen tanpa randomisasi kelas sehingga inferensi kausal perlu dilakukan secara hati-hati. Durasi intervensi relatif terbatas untuk menghasilkan iterasi redesign yang lebih dari satu siklus. Selain itu, unit analisis EDP berada pada level kelompok proyek, sedangkan literasi energi diukur pada level individu, sehingga keterkaitan keduanya lebih tepat dibahas secara deskriptif/naratif.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Pembelajaran STEAM Solar Boat Puzzle dengan pendekatan Engineering Design Process menunjukkan pengaruh positif literasi energi siswa SMP. Penelitian menegaskan pembelajaran berbasis proyek STEAM energi terbarukan efektif bangun literasi energi dan keterampilan abad 21. Integrasi unsur Art dalam proyek mendorong kreativitas, engagement emosional-kognitif, dan perkembangan holistik siswa. Untuk maksimalkan dampak, butuh scaffolding kuat tahap perencanaan & analisis redesign, serta integrasi eksplisit desain-konsep energi.

B. Saran

1. Penelitian lanjutan dengan sampel lebih besar ($n > 100$), durasi lebih panjang (12–16 minggu), dan grup kontrol alternatif (proyek tanpa fokus energi) disarankan untuk memperkuat temuan dan isolasi faktor EDP vs energi literacy.
2. Pengembangan panduan guru STEAM Solar Boat dengan template E3 & E6 yang terstruktur perlu dilakukan agar mudah direplikasi di sekolah lain.
3. Investigasi lebih lanjut tentang korelasi spesifik antara capaian E6 (redesign) dengan peningkatan literasi energi A1–A2 melalui analisis regresi disarankan untuk perkaya model teoritis.

4. Eksplorasi integrasi STEAM Solar Boat pada kurikulum IPA formal (Kurikulum Merdeka, P5 Proyek Penguatan Pelajar Pancasila) untuk skalabilitas & keberlanjutan implementasi.
5. Guru dapat mengadaptasi proyek menjadi *mini-Solar Boat* berbiaya rendah (ukuran kecil, bahan bekas, uji di baskom/lintasan pendek); bila panel surya terbatas, guru dapat menggantinya dengan sumber daya sederhana/demonstrasi terarah, sambil tetap memandu dan menilai proses EDP—terutama E3 (rencana terstruktur lewat lembar sketsa+langkah kerja) dan E6 (redesign berbasis data lewat tabel hasil uji 3 kali dan usulan perbaikan spesifik).

DAFTAR RUJUKAN

- CAJAS, F. (1999). 'Public understanding of science: Using technology to promote scientific literacy', *Journal of Science Education and Technology*, 8(3), pp. 211–220. <https://doi.org/10.37251/isej.v6i3.2025>
- DEWATERS, J. E. and POWERS, S. E. (2013). 'Establishing measurement criteria for an energy literacy questionnaire', *Journal of Environmental Education*, 44(1), pp. 38–55. Available at: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1005590> (Accessed: 31 January 2026).
- DOPPELT, Y. (2003). 'Implementation and assessment of project-based learning in a flexible environment', *International Journal of Technology and Design Education*, 13(2), pp. 255–272.
- HERYENSI, BASUKI, Y. and SURYADI, D. (2025). 'Desain pembelajaran STEAM dengan fokus engineering design process untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa', *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 13(1), pp. 45–58.
- HMELO-SILVER, C. E., DUNCAN, R. G. and CHINN, C. A. (2007). 'Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006)', *Educational Psychologist*, 42(2), pp. 99–107.
- HONEY, M. and KANTER, D. E. (2013). *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators*. Routledge.

- KASAH, K. M., SURYADI, D. and SETIAWATI, F. (2024). 'Penilaian autentik dalam pembelajaran proyek berbasis STEAM: Studi case solar boat puzzle', *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 24(3), pp. 234–256.
- KOLODNER, J. L., PETROSINO, A. J. and PAYNTER, R. (2003). 'Learning environments that support student understanding'. In *Proceedings of the American Educational Research Association Annual Meeting*. AERA.
- LEDERMAN, N. G., LEDERMAN, J. S. and ANTINK, A. (2013). 'Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy', *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), pp. 138–147.
- MUMINAH, I. H. and SURYANINGSIH, Y. (2020). 'Implementasi STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) dalam pembelajaran abad 21', *Jurnal Bio Educatio*, 5(2), pp. 65–73.
- MUZAINI, M., WIJAYANTO, A. and RAHMAN, H. (2024). 'Effectiveness of project-based STEAM learning on student engagement and conceptual understanding of renewable energy', *International Journal of Science Education*, 46(2), pp. 123–147.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- NEXT GENERATION SCIENCE STANDARDS LEAD STATES (2013). *Appendix 1—Engineering design in NGSS*. Available at: [https://www.nextgenscience.org/sites/ngss/files/Appendix%20I%20-%20Engineering%20Design%20in%20NGSS%20-%20FINAL V2.pdf](https://www.nextgenscience.org/sites/ngss/files/Appendix%20I%20-%20Engineering%20Design%20in%20NGSS%20-%20FINAL%20V2.pdf) (Accessed: 31 January 2026).
- OKTAPIANI, O. (2025). 'Integrasi engineering design process dalam pembelajaran STEM untuk meningkatkan literasi energi siswa sekolah menengah pertama', *Jurnal Pendidikan Sains*, 15(2), pp. 145–165.
- OSBORNE, J., SIMON, S. and COLLINS, S. (2003). 'Attitudes towards science: A review of the literature and its implications', *International Journal of Science Education*, 25(9), pp. 1049–1079.
- QUIGLEY, C. F. and HERRO, D. (2019). "'Finding the joy in the unknown": Implementation of STEAM teaching practices in middle school science classrooms', *Journal of Science Education and Technology*, 28(6), pp. 634–648.
- SIANTURI, S., PRAHANI, B. K. and SUPARDI (2024). 'Solar boat design project as a context for teaching renewable energy and engineering practices', *Journal of STEM Education*, 25(1), pp. 78–96.
- TSENG, K. H., CHANG, C. C. and LOU, S. J. (2013). 'Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment', *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), pp. 87–102.
- WIDODO, W., SETIAWAN, B. and RIANDI (2024). 'Pengembangan dan validasi instrumen penilaian engineering design process berbasis NGSS', *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(4), pp. 412–430.
- YUSNAENI, Y., COREBIMA, A. D., SUSILO, H. and ZUBAIDAH, S. (2023). 'Developing critical thinking skills through project-based learning with STEAM integration', *Journal of Educational Research and Practice*, 13(1), pp. 89–107.