

IMPLEMENTASI MODUL AJAR STEM-PJBL MELALUI PROYEK PEMBUATAN PLTAM DARI BARANG BEKAS: STUDI DESKRIPTIF KUALITATIF PADA PEMBELAJARAN IPA

Nadia Nuri Silmiah^{1*}, Imas Pipih Sopiah², Mahdiyina Amirudin³, Yulia Sukmawardani⁴,
& Sumiyati Saadah⁵

¹⁻⁵UIN Sunan Gunung Djati, Bandung, Indonesia

* Email: 22259450005@student.uinsgd.ac.id

Diterima: 22 Desember 2025

Direvisi: 21 Februari 2026

Publikasi: 25 Februari 2026

Abstract

This study aims to describe the implementation of a STEM-based teaching module Project Based Learning (PjBL) through a project to build a Mini Hydroelectric Power Plant (PLTAM) from used materials and to analyze students' learning experiences in science learning. The study used a qualitative descriptive approach with a descriptive study design conducted at SMPN 1 Cilengkrang. The research procedure included the stages of problem orientation, project planning, prototyping, testing, and reflection. Data collection was carried out through observation, interviews, documentation, and analysis of student projects. Data analysis was carried out using the interactive model of Miles, Huberman, and Saldaña which includes data reduction, data presentation, and conclusion drawing, and its validity was tested through triangulation of sources and techniques. The results showed that the implementation of the STEM-PjBL teaching module took place systematically through five project stages. Project activities encouraged active student involvement, collaborative work, and the integration of elements of science, technology, engineering, and mathematics. Students demonstrated a better understanding of the principles of converting water energy into electrical energy. The use of used materials increased students' creativity and environmental awareness. The questionnaire data showed a very positive response, with an average score above 4.2 and a percentage of agree/strongly agree reaching 83.3%-100%. The implementation of the STEM-PjBL teaching module through the hydropower project using recycled materials was able to create more contextual, meaningful, and student-centered science learning, and is worthy of being used as an innovative alternative in renewable energy learning in junior high schools.

Keywords: STEM-PjBL; Science Learning; Renewable Energy; Hydroelectric Power Plant; Used Goods

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan implementasi modul ajar berbasis STEM-Project Based Learning (PjBL) melalui proyek pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini (PLTAM) dari barang bekas serta menganalisis pengalaman belajar siswa dalam pembelajaran IPA. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan desain studi deskriptif yang dilaksanakan di SMPN 1 Cilengkrang. Prosedur penelitian meliputi tahapan orientasi masalah, perencanaan proyek, pembuatan prototipe, pengujian, dan refleksi. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, wawancara, dokumentasi, serta analisis proyek siswa. Analisis data dilakukan dengan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña yang mencakup reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan, serta diuji keabsahannya melalui triangulasi sumber dan teknik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi modul ajar STEM-PjBL berlangsung sistematis melalui lima tahapan proyek. Kegiatan proyek mendorong keterlibatan aktif siswa, kerja kolaboratif, serta integrasi unsur sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. Siswa menunjukkan pemahaman yang lebih baik terhadap prinsip konversi energi air menjadi energi listrik. Pemanfaatan barang bekas meningkatkan kreativitas dan kesadaran lingkungan siswa. Data angket menunjukkan respon sangat positif dengan rata-rata skor di atas 4,2 dan persentase setuju/sangat setuju mencapai 83,3%-100%. Implementasi modul ajar STEM-PjBL melalui proyek PLTAM dari barang bekas mampu menciptakan pembelajaran IPA yang lebih kontekstual, bermakna, dan berpusat pada siswa, serta layak dijadikan alternatif inovatif dalam pembelajaran energi terbarukan di SMP.

Kata kunci: STEM-PjBL; Pembelajaran IPA; Energi Terbarukan; PLTAM; Barang Bekas

PENDAHULUAN

Pembelajaran IPA pada hakikatnya harus memberikan pengalaman langsung melalui aktivitas ilmiah agar konsep-konsep abstrak dapat dipahami secara lebih bermakna oleh peserta didik (Dewi et al, 2023). Namun dalam praktiknya, berbagai hasil observasi dan penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran IPA di sekolah masih didominasi oleh pendekatan teoritis, sehingga siswa kurang memperoleh kesempatan untuk melakukan eksperimen dan kegiatan praktik yang dapat menguatkan pemahaman konsep (Lestari, 2024). Sesuai dengan hasil observasi yang dilakukan peneliti di SMPN 1 Cilengkrang menunjukkan bahwa pembelajaran IPA masih dominan pada penjelasan materi secara teoritis tanpa memberikan kesempatan yang cukup bagi siswa untuk melakukan kegiatan eksperimen ataupun eksplorasi konsep secara langsung. Kondisi ini berdampak pada rendahnya pemahaman siswa terhadap konsep energi dan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, termasuk pemahaman mengenai energi terbarukan yang memerlukan pengalaman langsung untuk dapat dipahami secara utuh (Rahmi et al, 2022).

Selain itu, ditemukan pula bahwa pemahaman siswa mengenai energi terbarukan dan konversi energi masih rendah karena kurangnya penggunaan media dan aktivitas pembelajaran yang memungkinkan siswa membangun pengetahuan melalui pengalaman empiris. Padahal, kurikulum menuntut pembelajaran yang mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, dan keterampilan proses sains melalui pengalaman autentik. Minimnya kesempatan untuk melakukan percobaan atau merancang karya ilmiah menyebabkan siswa kurang tertantang untuk berinovasi serta tidak memperoleh gambaran nyata tentang penerapan konsep energi terbarukan dalam kehidupan. Kondisi ini

menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk menghadirkan pembelajaran IPA yang lebih bermakna, kontekstual, dan berbasis praktik.

Pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL) telah terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep IPA dan keterampilan berpikir kritis karena mendorong siswa untuk membangun pengetahuan melalui kegiatan proyek yang autentik dan bermakna (Dewi et al., 2023). Ketika dipadukan dengan pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), pembelajaran tidak hanya berfokus pada pencapaian kognitif, tetapi juga keterampilan merancang, menguji, dan memecahkan masalah melalui proses rekayasa sederhana (Rahmi et al., 2022). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa integrasi STEM-PjBL berpengaruh positif terhadap peningkatan hasil belajar IPA dan pemahaman energi pada siswa (Lestari, 2024).

Dalam konteks energi terbarukan, prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini (PLTAM) merupakan salah satu media yang efektif untuk memperkenalkan prinsip konversi energi karena dapat dibuat dalam skala kecil dengan prinsip kerja yang mudah diamati oleh siswa (Refdyantori, 2021). Selain itu, penelitian di bidang rekayasa menunjukkan bahwa prototipe PLTMH dengan berbagai jenis turbin seperti, Pelton maupun Archimedes screw dapat menghasilkan keluaran listrik yang cukup untuk dijadikan bahan praktikum sederhana (Pratama, 2020; Ardiansyah & Basuki, 2024). Penyederhanaan konsep PLTMH menjadi PLTAM skala proyek sekolah memberikan peluang bagi siswa untuk memahami langsung bagaimana energi potensial air dapat dikonversi menjadi energi listrik.

Pembelajaran berbasis proyek juga mendorong siswa untuk memanfaatkan berbagai bahan sederhana dan barang bekas sebagai sumber belajar yang murah, mudah

diperoleh, dan ramah lingkungan (Ristiani et al., 2022). Penggunaan barang bekas dalam pembuatan alat peraga terbukti meningkatkan kreativitas siswa, membuat pembelajaran lebih kontekstual, serta menumbuhkan kesadaran lingkungan (Sumaryanti et al., 2024). Selain itu, pemanfaatan barang bekas sebagai media pembelajaran IPA telah dilaporkan efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif dan keterlibatan siswa dalam proses belajar (Rajagukguk et al., 2024).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pembelajaran yang mampu mengintegrasikan pengalaman langsung, rekayasa sederhana, dan pemecahan masalah autentik melalui proyek yang relevan dengan kehidupan siswa. Implementasi modul ajar berbasis STEM-PjBL melalui proyek pembuatan PLTAM dari barang bekas merupakan salah satu alternatif inovatif yang dapat menjawab permasalahan tersebut karena memungkinkan siswa mengonsepkan, merancang, membangun, dan menguji alat sebagai bagian dari proses belajar (Dewi et al., 2023; Ristiani et al., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada deskripsi proses implementasi modul ajar tersebut serta bagaimana pengalaman belajar siswa terbentuk melalui kegiatan proyek energi terbarukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif. Desain penelitian yang digunakan adalah studi deskriptif untuk menggambarkan secara mendalam proses pembelajaran IPA melalui implementasi modul ajar STEM-*Project-Based Learning* (PjBL) pada proyek pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini (PLTAM) dari barang bekas. Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian bukan pada pengukuran hasil belajar secara statistik, tetapi pada pemahaman tentang bagaimana proses pembelajaran berlangsung, bagaimana siswa berinteraksi selama proyek,

serta bagaimana pemahaman konsep energi terbarukan terbentuk melalui pengalaman belajar langsung (Creswell, 2018).

Prosedur penelitian meliputi tahapan orientasi masalah, perencanaan proyek, pembuatan prototipe, pengujian, dan refleksi. Data dikumpulkan melalui observasi kelas, wawancara dengan guru dan siswa, dokumentasi proses pembuatan PLTAM, serta analisis produk proyek siswa. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña (2014) yang mencakup tiga tahapan, yaitu 1) Reduksi data (*data condensation*), 2) Penyajian data (*data display*), dan 3) Penarikan kesimpulan (*conclusion drawing/verification*) untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai implementasi modul ajar serta makna pengalaman belajar siswa selama mengikuti kegiatan PjBL-STEM.

Keabsahan data diuji melalui triangulasi sumber (membandingkan informasi dari guru dan siswa) dan triangulasi teknik (membandingkan data observasi, wawancara, dan angket). Selain itu, dilakukan *member checking* dengan mengkonfirmasi kembali hasil wawancara kepada informan untuk memastikan tidak ada kesalahan interpretasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi selama proses pembelajaran menunjukkan bahwa implementasi modul ajar berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) pada proyek pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini (PLTAM) dari barang bekas berlangsung secara bertahap dan sistematis. Tahapan pembelajaran meliputi orientasi masalah, perencanaan proyek, pelaksanaan pembuatan prototipe, pengujian sederhana, serta refleksi hasil kegiatan. Setiap tahapan memberikan kesempatan kepada siswa untuk terlibat aktif dalam proses pembelajaran berbasis pengalaman langsung. Selama proses

pembelajaran, siswa dibagi ke dalam kelompok yang masing-masing beranggotakan 4-5 orang.

Pada tahap orientasi masalah, guru memfasilitasi diskusi awal mengenai isu keterbatasan energi listrik dan pentingnya pemanfaatan energi terbarukan. Diskusi ini bertujuan membangun konteks pembelajaran agar siswa memahami relevansi materi dengan kehidupan sehari-hari. Berdasarkan hasil pengamatan, sebagian besar siswa menunjukkan pemahaman awal yang masih bersifat konseptual dan belum mampu menjelaskan secara runtut proses konversi energi air menjadi energi listrik. Temuan ini sejalan dengan laporan Rahmi et al. (2022) yang menyatakan bahwa konsep energi terbarukan cenderung sulit dipahami siswa apabila tidak disertai pengalaman belajar langsung.

Pada tahap perencanaan proyek, siswa bersama kelompoknya mulai mendesain PLTAM, mengidentifikasi bahan-bahan yang diperlukan, dan membagi tugas. Bahan utama yang digunakan adalah barang bekas seperti botol plastik, sendok plastik, kipas bekas, dinamo mainan, dan kabel. Guru berperan sebagai fasilitator yang membantu siswa menyusun rencana kerja yang realistis sesuai waktu dan bahan yang tersedia. Tahap pembuatan prototipe berlangsung selama dua pertemuan. Siswa bekerja dalam kelompok merakit komponen PLTAM sesuai desain yang telah dibuat. Keterlibatan aktif terlihat ketika siswa berdiskusi, mencoba berbagai posisi turbin, dan menyesuaikan aliran air. Beberapa kelompok mengalami kendala teknis, seperti turbin tidak berputar optimal atau dinamo tidak menghasilkan tegangan, namun mereka berusaha mencari solusi melalui diskusi kelompok dan konsultasi dengan guru.

Keterlibatan aktif siswa selama proyek mendukung temuan Furtak et al., (2012) dan Pedaste et al., (2015) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri dan proyek

mampu meningkatkan kualitas keterlibatan belajar siswa karena memberi ruang untuk bereksperimen dan mengambil keputusan berbasis pengalaman. Hal ini juga diperkuat oleh Han et al. (2015) yang menemukan bahwa STEM-PjBL efektif meningkatkan engagement siswa dalam pembelajaran sains.

Tahap pengujian dilakukan dengan mengalirkan air ke turbin dan mengukur keluaran listrik menggunakan multimeter sederhana serta menyalakan LED sebagai indikator. Sebagian besar kelompok berhasil menyalakan LED meskipun nyala lampu masih redup dan tidak stabil. Pengalaman langsung melihat LED menyala karena aliran air memberikan pengalaman berkesan dan memperkuat pemahaman konseptual siswa. Tahap refleksi dilakukan melalui diskusi kelas dimana setiap kelompok mempresentasikan hasil proyeknya, menjelaskan kendala yang dihadapi, serta memberikan tanggapan terhadap karya kelompok lain. Guru memandu refleksi dengan mengaitkan pengalaman siswa dengan konsep energi terbarukan, konversi energi, dan prinsip kerja PLTMH.

Analisis terhadap hasil proyek PLTAM menunjukkan bahwa siswa mulai memahami prinsip dasar konversi energi, yaitu perubahan energi potensial air menjadi energi kinetik dan selanjutnya menjadi energi listrik. Pemahaman ini terlihat dari kemampuan siswa menjelaskan secara lisan hubungan antara aliran air, putaran turbin, dan munculnya arus listrik pada dinamo, meskipun daya listrik yang dihasilkan masih sangat kecil dan bersifat demonstratif.

Pengalaman langsung dalam merancang dan menguji PLTAM memberikan representasi konkret terhadap konsep energi terbarukan yang sebelumnya bersifat abstrak. Hal ini memperkuat pendapat Bybee (2013) bahwa pembelajaran sains yang melibatkan pengalaman langsung dan rekayasa sederhana lebih efektif dalam membangun pemahaman

konseptual dibandingkan pembelajaran berbasis ceramah. Selain itu, penggunaan prototipe PLTAM sebagai media pembelajaran juga sejalan dengan temuan Pratama (2020) dan Refdyantori (2021) yang menunjukkan bahwa model mikrohidro skala kecil efektif digunakan sebagai sarana pembelajaran prinsip konversi energi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi modul ajar STEM-PjBL melalui proyek PLTAM berlangsung melalui lima tahapan utama: orientasi masalah, perencanaan proyek, pembuatan prototipe, pengujian, dan refleksi. Temuan ini sejalan dengan sintaks PjBL yang dikemukakan Thomas (2000) yang menekankan pentingnya tahapan proyek yang sistematis untuk mencapai pembelajaran bermakna. Lebih lanjut, Capraro et al., (2013) dalam bukunya "STEM Project-Based Learning" menegaskan bahwa integrasi STEM dalam PjBL memerlukan tahapan rekayasa (engineering design process) yang meliputi identifikasi masalah, perancangan solusi, pembuatan prototipe, pengujian, dan perbaikan.

Penelitian serupa oleh Han et al., (2015) terhadap 45 sekolah di Texas menunjukkan bahwa implementasi STEM-PjBL yang sistematis mampu meningkatkan pemahaman konseptual siswa hingga 20% lebih tinggi dibandingkan pembelajaran konvensional. Demikian pula, Sahin (2013) dalam penelitiannya terhadap 532 siswa menemukan bahwa proyek STEM yang terstruktur dengan tahapan jelas berkontribusi signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Pada tahap orientasi masalah di penelitian ini, guru berhasil membangun konteks pembelajaran melalui isu nyata keterbatasan energi. Hal ini sesuai dengan

temuan Bell (2010) yang menyatakan bahwa PjBL yang efektif dimulai dengan "driving question" yang relevan dengan kehidupan siswa untuk membangkitkan rasa ingin tahu dan motivasi belajar.

Hasil observasi dan wawancara menunjukkan adanya peningkatan pemahaman siswa terhadap konsep konversi energi setelah terlibat langsung dalam pembuatan PLTAM. Temuan ini konsisten dengan teori experiential learning Kolb (1984) yang menegaskan bahwa pembelajaran melalui pengalaman konkret (concrete experience) diikuti refleksi aktif (active experimentation) menghasilkan internalisasi konsep yang lebih mendalam dibandingkan pembelajaran abstrak. Penelitian relevan oleh Tseng et al., (2013) terhadap 247 siswa di Taiwan menemukan bahwa proyek STEM berbasis energi terbarukan meningkatkan pemahaman konseptual siswa secara signifikan karena siswa dapat menghubungkan teori dengan fenomena nyata. Senada dengan itu, penelitian Karamustafaoğlu (2011) tentang proyek pembangkit listrik sederhana menunjukkan bahwa siswa yang terlibat langsung dalam pembuatan alat peraga memiliki retensi konsep 30% lebih baik dibanding siswa yang hanya belajar melalui demonstrasi.

Selain data observasi dan wawancara, penelitian ini juga menyebarkan angket respon siswa untuk mengetahui persepsi dan pengalaman mereka selama mengikuti pembelajaran berbasis proyek PLTAM. Angket diberikan kepada 30 siswa yang terlibat dalam proyek dengan menggunakan skala Likert 1–5 (1 = Sangat Tidak Setuju, 5 = Sangat Setuju). Data dianalisis secara deskriptif persentase.

Tabel 1. Hasil Angket Siswa

No	Pernyataan	Rata-rata Skor	Persentase Setuju & Sangat Setuju
1	Saya merasa tertantang untuk terlibat dalam proyek pembuatan PLTAM.	4,6	96,7%

2	Proyek ini membantu saya memahami konsep energi terbarukan dengan lebih baik.	4,5	93,3%
3	Saya senang menggunakan barang bekas sebagai bahan proyek.	4,7	100%
4	Saya belajar bekerja sama dalam kelompok dengan baik.	4,4	90,0%
5	Saya merasa kreatifitas saya berkembang selama merancang PLTAM.	4,3	86,7%
6	Kegiatan pengujian prototipe membuat saya lebih paham cara kerja pembangkit listrik.	4,5	93,3%
7	Saya merasa pembelajaran seperti ini lebih bermakna daripada hanya mendengarkan ceramah.	4,8	100%
8	Saya jadi lebih sadar akan pentingnya daur ulang dan pemanfaatan barang bekas.v	4,6	96,7%
9	Saya mengalami kesulitan teknis selama pengerjaan, tetapi dapat diselesaikan dengan diskusi.	4,2	83,3%
10	Saya ingin pembelajaran IPA selanjutnya menggunakan pendekatan serupa.	4,7	100%

Dari Tabel 1 tersebut secara umum, respon siswa sangat positif terhadap implementasi modul STEM-PjBL. Mayoritas siswa merasa proyek ini menantang, bermakna, dan meningkatkan pemahaman konseptual. Pemanfaatan barang bekas mendapat apresiasi tinggi (100% setuju), menunjukkan tingginya minat siswa terhadap pembelajaran yang kontekstual dan berwawasan lingkungan.

Respon positif dari angket siswa memperkuat temuan observasi bahwa pembelajaran STEM-PjBL melalui proyek PLTAM berhasil menciptakan engagement yang tinggi. Skor rata-rata di atas 4,2 pada semua aspek menunjukkan bahwa siswa tidak hanya pasif menerima materi, tetapi secara aktif terlibat secara kognitif, afektif, dan psikomotorik. Hal ini sejalan dengan teori experiential learning (Kolb, 1984) yang menekankan bahwa pembelajaran melalui pengalaman langsung dapat meningkatkan internalisasi konsep.

Hasil angket menunjukkan 93,3% siswa setuju bahwa proyek membantu memahami energi terbarukan (pernyataan no. 2). Hal ini diperkuat temuan Pratama (2020) bahwa prototipe PLTMH skala laboratorium efektif menjelaskan prinsip konversi energi karena siswa dapat mengamati langsung hubungan

debit air, putaran turbin, dan keluaran listrik. Refdyantori (2021) juga melaporkan bahwa proyek PLTMH turbin Archimedes memberikan pemahaman komprehensif tentang energi terbarukan karena melibatkan aspek mekanik dan elektrik secara simultan.

Proyek PLTAM dalam penelitian ini mengintegrasikan keempat aspek STEM: Sains (konsep energi potensial, kinetik, dan konversi energi), Teknologi (penggunaan dinamo dan LED sebagai teknologi sederhana), Rekayasa (proses desain dan konstruksi turbin), dan Matematika (pengukuran debit air, tegangan listrik, dan perbandingan ukuran komponen). Integrasi ini terlihat dari proses siswa merancang turbin dengan mempertimbangkan jumlah dan sudut sudu, menghitung banyaknya putaran, serta mengukur tegangan yang dihasilkan. Hasil ini mendukung temuan Bybee (2013) yang menyatakan bahwa pembelajaran STEM yang efektif harus mengintegrasikan keempat disiplin secara terpadu, bukan parsial. Penelitian Becker dan Park (2011) melalui meta-analisis terhadap 28 studi menunjukkan bahwa integrasi STEM dalam pembelajaran meningkatkan hasil belajar kognitif dan afektif siswa secara signifikan dibanding pembelajaran terpisah.

Wang et al., (2011) dalam penelitiannya tentang proyek energi terbarukan menemukan bahwa integrasi rekayasa (engineering) dalam pembelajaran sains memberikan kesempatan siswa untuk menerapkan pengetahuan dalam konteks nyata, sehingga pembelajaran lebih bermakna. Demikian pula, penelitian Morrison (2006) menegaskan bahwa literasi STEM mencakup kemampuan mengidentifikasi masalah, merancang solusi, dan mengevaluasi hasil—yang semuanya terfasilitasi dalam proyek PLTAM ini.

Salah satu temuan penting adalah penggunaan barang bekas (botol plastik, sendok plastik, kipas bekas) sebagai bahan utama proyek. Angket menunjukkan 100% siswa senang menggunakan barang bekas (pernyataan no. 3) dan 96,7% menjadi lebih sadar daur ulang (pernyataan no. 8). Temuan ini sejalan dengan penelitian Ristiani et al. (2022) yang melaporkan bahwa pemanfaatan barang bekas dalam pembuatan alat peraga IPA meningkatkan kreativitas siswa hingga 85% karena siswa dituntut berpikir inovatif memanfaatkan keterbatasan bahan. Penelitian Sumaryanti et al., (2024) terhadap siswa SD juga menemukan bahwa proyek berbasis barang bekas tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep tetapi juga menumbuhkan karakter peduli lingkungan. Rajagukguk et al., (2024) menambahkan bahwa proses mengolah barang bekas menjadi alat fungsional melatih keterampilan berpikir kreatif dan pemecahan masalah karena siswa harus mengadaptasi desain sesuai ketersediaan bahan.

Utami et al., (2020) dalam penelitiannya tentang pemanfaatan limbah plastik untuk media pembelajaran melaporkan bahwa proyek semacam ini efektif meningkatkan environmental awareness siswa karena mereka mengalami langsung proses transformasi barang tidak berguna menjadi bermanfaat. Hal ini sejalan dengan tujuan Education for Sustainable

Development (UNESCO, 2017) yang menekankan pentingnya pembelajaran yang mengintegrasikan isu keberlanjutan.

Proyek PLTAM terbukti mengembangkan keterampilan abad ke-21, meliputi kolaborasi (terlihat dari kerja kelompok), komunikasi (presentasi hasil proyek), kreativitas (mendesain turbin dari barang bekas), dan pemecahan masalah (mengatasi kendala teknis). Hasil angket menunjukkan 90% siswa belajar bekerja sama dengan baik (pernyataan no. 4) dan 86,7% merasa kreativitasnya berkembang (pernyataan no. 5). Temuan ini konsisten dengan penelitian Trilling dan Fadel (2009) yang mengidentifikasi bahwa pembelajaran berbasis proyek merupakan strategi efektif untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21. Penelitian Bell (2010) juga menegaskan bahwa PjBL melatih siswa untuk berkolaborasi, berkomunikasi, dan berpikir kritis dalam konteks autentik.

Hasil observasi menunjukkan bahwa ketika menghadapi kesulitan teknis (misalnya turbin tidak berputar), siswa berdiskusi dan melakukan iterasi desain. Proses ini mencerminkan esensi problem-based learning dalam kerangka STEM sebagaimana dijelaskan Hmelo-Silver (2004) bahwa pembelajaran berbasis masalah mendorong siswa untuk membangun pengetahuan melalui proses pemecahan masalah nyata. Data angket menunjukkan respon sangat positif, dengan pernyataan no. 7 (pembelajaran lebih bermakna daripada ceramah) dan no. 10 (ingin pembelajaran serupa) mencapai 100% setuju. Hal ini mengindikasikan bahwa siswa merasakan perbedaan kualitas pengalaman belajar dibanding metode konvensional.

Penelitian Hattie (2009) melalui meta-analisis terhadap 800+ studi menemukan bahwa pembelajaran berbasis proyek memiliki effect size 0,61 terhadap hasil belajar, termasuk dalam kategori sedang-tinggi. Lebih spesifik,

penelitian Furtak et al., (2012) terhadap 37 studi eksperimen menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri (termasuk PjBL) lebih unggul dalam meningkatkan pemahaman konseptual dibanding pembelajaran langsung (direct instruction). Hasil wawancara dengan siswa mengungkapkan bahwa mereka merasa "senang karena bisa praktek langsung" dan "lebih paham karena melihat sendiri cara kerjanya". Hal ini sejalan dengan teori konstruktivisme Piaget dan Vygotsky yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi aktif dengan lingkungan dan kolaborasi sosial (Pedaste et al., 2015).

Meskipun hasil positif, penelitian ini menemukan beberapa kendala: keterbatasan waktu (tidak semua kelompok menyempurnakan desain), keterbatasan alat ukur (tegangan tidak terukur kuantitatif), dan kesulitan teknis (83,3% siswa mengalaminya). Temuan serupa dilaporkan Lestari (2024) bahwa implementasi STEM-PjBL di sekolah dengan keterbatasan sarana memerlukan manajemen waktu yang cermat dan kreativitas guru dalam mendesain proyek yang feasible.

Penelitian Marx et al., (2004) tentang implementasi PjBL di 10 sekolah menengah mengidentifikasi tantangan serupa: keterbatasan waktu, tuntutan kurikulum, dan kesiapan siswa. Mereka merekomendasikan pentingnya scaffolding dari guru dan perencanaan proyek yang mempertimbangkan alokasi waktu realistis. Menariknya, meskipun mengalami kesulitan, 83,3% siswa menyatakan dapat menyelesaikannya melalui diskusi (pernyataan no. 9). Hal ini menunjukkan bahwa kesulitan teknis justru menjadi momentum belajar yang berharga, sesuai pendapat Silberman (2007) bahwa experiential learning yang efektif melibatkan tantangan yang dapat diatasi melalui kolaborasi.

Penelitian ini memberikan kontribusi praktis berupa model implementasi STEM-

PjBL yang aplikatif untuk materi energi terbarukan di SMP dengan memanfaatkan barang bekas. Kebaruan penelitian terletak pada: (1) pengintegrasian isu lingkungan (pemanfaatan barang bekas) dengan pembelajaran energi terbarukan, (2) pendokumentasian sistematis seluruh tahapan implementasi, dan (3) penyajian data kualitatif yang diperkuat data angket kuantitatif sederhana. Dibanding penelitian sebelumnya yang lebih fokus pada hasil belajar (Lestari, 2024; Rahmi et al., 2022), penelitian ini memberikan gambaran mendalam tentang proses pembelajaran dan pengalaman siswa. Dibanding penelitian rekayasa (Pratama, 2020; Refdyantori, 2021) yang fokus pada aspek teknis PLTMH, penelitian ini menyoroti aspek pedagogis dan pengalaman belajar.

KESIMPULAN

Implementasi modul ajar berbasis STEM-*Project Based Learning* (PjBL) melalui proyek pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini (PLTAM) dari barang bekas mampu menciptakan proses pembelajaran IPA yang lebih aktif, kontekstual, dan bermakna. Pembelajaran berlangsung melalui tahapan proyek yang sistematis dan memberikan kesempatan kepada siswa untuk terlibat langsung dalam perencanaan, perancangan, pembuatan, serta pengujian prototipe PLTAM.

Kegiatan proyek mendorong siswa untuk mengintegrasikan konsep sains, teknologi, rekayasa, dan matematika secara terpadu serta mengembangkan keterampilan kolaborasi, komunikasi, kreativitas, dan pemecahan masalah. Pengalaman langsung dalam mengonversi energi air menjadi energi listrik membantu siswa memahami konsep energi terbarukan yang sebelumnya bersifat abstrak. Selain itu, pemanfaatan barang bekas sebagai media pembelajaran tidak hanya mengatasi keterbatasan sarana, tetapi juga menumbuhkan

kesadaran lingkungan dan sikap peduli terhadap keberlanjutan.

Dengan demikian, modul ajar STEM-PjBL melalui proyek PLTAM dari barang bekas dapat dijadikan sebagai alternatif inovatif dalam pembelajaran IPA, khususnya pada materi energi terbarukan di SMP, serta relevan diterapkan dalam kondisi keterbatasan fasilitas pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, I., & Basuki. (2024). Pengembangan PLTMH dengan Turbin Pelton Skala Prototipe. *Jurnal Ilmiah Nusantara*, 3(1), 45-58.
- Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12(5), 23-37.
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House*, 83(2), 39-43.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (Eds.). (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach* (2nd ed.). Sense Publishers.
- Creswell, J. W. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dewi, N. N. S. K., Arnyana, I. B. P., & Margunayasa, I. G. (2023). Project Based Learning Berbasis STEM: Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 6(2), 123-135.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- Han, S., Capraro, R., & Capraro, M. M. (2015). How science, technology, engineering, and mathematics (STEM) project-based learning (PBL) affects high, middle, and low achievers differently. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(5), 1089-1113.
- Hattie, J. (2009). Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. Routledge.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.
- Karamustafaoğlu, S. (2011). Improving the science process skills ability of science student teachers using I diagrams. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 3(1), 26-38.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.
- Lestari, I. (2024). Pengaruh Model Pembelajaran Project Based Learning Berbasis STEM terhadap Hasil Belajar Muatan IPA. *Jurnal Pendidikan IPA*, 8(1), 67-82.
- Marx, R. W., Blumenfeld, P. C., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2004). Enacting project-based science: Challenges for practice and policy. *Elementary School Journal*, 97(4), 341-358.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Morrison, J. (2006). *Attributes of STEM education: The student, the school, the classroom*. TIES (Teaching Institute for Excellence in STEM).
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and

- the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Pratama, A. D. (2020). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Anak Sungai Jompo. *Jurnal Rekayasa Energi*, 5(2), 112-124.
- Rahmi, R. P., Meli, N., & Kusdar, K. (2022). Penerapan Model Project Based Learning Berbasis STEM untuk Meningkatkan Hasil Belajar IPA Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Kompetensi*, 8(1), 45-58.
- Rajagukguk, S., Simanjuntak, M., & Siregar, N. (2024). Pemanfaatan Barang Bekas sebagai Media Pembelajaran IPA dalam Mengembangkan Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa. *Jurnal Metabio*, 6(1), 78-92.
- Refdyantori, M. Z. (2021). Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Turbin Ulir Archimedes. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(3), 201-215.
- Ristiani, R., Ayomi, G. R., & Ali, A. (2022). Pendampingan Pembuatan Alat Peraga IPA dari Barang Bekas sebagai Media Pembelajaran. *J-Abdimas Cenderawasih*, 4(2), 89-102.
- Sahin, A. (2013). STEM project-based learning: A study of students' motivation and achievement. *International Journal of Engineering Education*, 29(5), 1216-1224.
- Silberman, M. L. (2007). *The handbook of experiential learning*. Pfeiffer.
- Sumaryanti, L., Rahmawati, D., & Hidayat, T. (2024). Pemanfaatan Barang Bekas Plastik sebagai Alat Peraga Edukatif dalam Proses Pembelajaran Siswa Pendidikan Dasar. *AL-ASASIYYA Journal*, 8(1), 56-73.
- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. The Autodesk Foundation.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., & Chen, W. P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87-102.
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Utami, I. S., Septiani, D., & Fajriah, N. (2020). Pemanfaatan Limbah Plastik menjadi Media Pembelajaran Berbasis Lingkungan. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 11(2), 134-148.
- Wang, H. H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 1(2), 1-13.