



Waste to Energy Project-Based Learning: Evaluasi Relevansi Program dan Kesiapan Sumber Daya dalam Pembelajaran Fisika Lingkungan

Hermansyah¹, Nahadi, Siti Sriyati^{1*}, Ida Kaniawati¹

¹Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

*Corresponding author: sitisriyati@upi.edu

Article History:

Received: November 30, 2024

Revised: Desember 25, 2024

Accepted: Desember 28, 2024

Published: Desember 31, 2024

Keywords: CIPP model, program evaluation, project-based learning, waste to energy

Abstract: Waste management and the need for renewable energy are global issues that require innovative solutions, including in education. Project-Based Learning is an effective approach to connecting theory and practice, providing students with learning experiences that are relevant to modern environmental challenges. This study evaluates the relevance of the Waste to Energy Project-Based Learning program and the readiness of resources to support project-based learning in Environmental Physics courses at a private university with a CIPP model that is limited to context evaluation and input evaluation. With a descriptive qualitative approach, data were collected through interviews, questionnaires, and document analysis, then analyzed thematically and descriptively with Excel. The results of the study indicate that this program is relevant to the needs of education in the field of environmental physics and is supported by adequate lecturer competence. However, there are challenges in the form of student readiness, limited facilities, and funding. Recommendations include providing introductory materials, strengthening facilities, and collaboration with external partners. In conclusion, this program has the potential to be further developed as an innovative and sustainable project-based learning model, with further studies needed to evaluate its impact in various institutions.

Abstrak: Pengelolaan limbah dan kebutuhan energi terbarukan menjadi isu global yang membutuhkan solusi inovatif, termasuk dalam pendidikan. *Project-based learning* merupakan pendekatan yang efektif untuk menghubungkan teori dan praktik, memberikan mahasiswa pengalaman belajar yang relevan dengan tantangan lingkungan modern. Penelitian ini mengevaluasi relevansi program *waste to energy project-based learning* dan kesiapan sumber daya dalam mendukung pembelajaran berbasis proyek pada mata kuliah Fisika Lingkungan di salah satu universitas swasta dengan model CIPP yang terbatas pada evaluasi *context* dan evaluasi *input*. Dengan pendekatan kualitatif deskriptif, data dikumpulkan melalui wawancara, kuesioner, dan analisis dokumen, lalu dianalisis secara tematik dan deskriptif dengan excel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa program ini relevan dengan kebutuhan pendidikan di bidang fisika lingkungan dan didukung oleh kompetensi dosen yang memadai. Namun, terdapat tantangan berupa kesiapan mahasiswa, keterbatasan fasilitas, dan pendanaan. Rekomendasi meliputi penyediaan materi pendahuluan, penguatan fasilitas, dan kolaborasi dengan mitra eksternal. Kesimpulannya, program ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai model pembelajaran berbasis proyek yang inovatif dan berkelanjutan, dengan studi lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi dampaknya di berbagai institusi.

PENDAHULUAN

Permasalahan limbah dan kebutuhan akan energi terbarukan menjadi isu global yang semakin mendesak untuk diatasi (Wang et al., 2024). Sebagai salah satu respons terhadap tantangan ini, pendidikan memainkan

peran penting dalam membentuk generasi yang memiliki kesadaran lingkungan serta keterampilan untuk mencari solusi inovatif (Altassan, 2023). Dalam konteks ini, pembelajaran berbasis proyek atau *project-based learning* (PjBL) telah diakui sebagai pendekatan yang efektif

untuk menghubungkan teori dengan praktik, terutama dalam bidang yang melibatkan masalah kompleks seperti pengelolaan limbah dan energi (Almulla, 2020; Helle et al., 2006; Kokotsaki et al., 2016; McGibbon & Van Belle, 2015).

Pendekatan PjBL memberikan kesempatan untuk belajar melalui pengalaman langsung, mahasiswa dapat terlibat aktif dalam memecahkan masalah nyata (Belwal et al., 2020; Ngereja et al., 2020). Pada bidang fisika lingkungan, integrasi PBL sangat relevan karena membantu mahasiswa memahami konsep-konsep seperti pengelolaan limbah dan konversi energi dalam konteks aplikatif (Solihat et al., 2024). Program *waste to energy project-based learning* adalah salah satu upaya untuk mengimplementasikan pendekatan ini, dengan tujuan memberikan pengalaman pembelajaran yang relevan dan mendalam bagi mahasiswa yang mengkontrak mata kuliah fisika lingkungan.

Namun, implementasi PjBL tidak terlepas dari tantangan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keberhasilan PjBL sangat dipengaruhi oleh relevansi program, kesiapan mahasiswa, kompetensi dosen sebagai fasilitator, serta ketersediaan sumber daya seperti fasilitas dan pendanaan (Belagra & Draoui, 2018; Kokotsaki et al., 2016; Yang et al., 2021). Mahasiswa yang tidak memiliki pemahaman dasar yang memadai dapat menghadapi kesulitan dalam mengikuti aktivitas proyek yang membutuhkan keterlibatan aktif dan kemampuan berpikir analitis (Sholeh et al., 2024). Selain itu, keterbatasan fasilitas dan pendanaan sering kali menjadi hambatan dalam pelaksanaan program PjBL (Aldabbus, 2018; Wiek et al., 2014; Wilson, 2021), meskipun kerja sama dengan mitra eksternal telah terbukti efektif dalam mengatasi kendala ini (Robichaud & Anantatmula, 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi relevansi program *waste to*

energy PjBL dan kesiapan sumber daya yang mendukung pelaksanaannya pada mata kuliah fisika lingkungan di salah satu universitas swasta. Fokus evaluasi mencakup analisis konteks program, termasuk relevansi terhadap kebutuhan pendidikan dan pengembangan keterampilan mahasiswa, serta analisis input yang meliputi kompetensi dosen, kesiapan mahasiswa, fasilitas, dan pendanaan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi PjBL berbasis *waste to energy* dalam mata kuliah fisika lingkungan, yang menghubungkan konsep fisika dengan isu global seperti pengelolaan limbah dan energi berkelanjutan. Selain mengevaluasi relevansi program terhadap kebutuhan pendidikan dan tantangan industri, penelitian ini secara unik menilai kesiapan sumber daya, seperti tenaga pengajar dan fasilitas pendukung, untuk implementasi PjBL yang efektif. Pendekatan ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pendidikan berbasis keberlanjutan, dengan mendorong pembelajaran lintas disiplin dan keterlibatan mahasiswa dalam pemecahan masalah nyata yang relevan dengan SDG pendidikan berkualitas, energi bersih dan terjangkau, penanganan perubahan iklim, dan ekosistem darat. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan wawasan mengenai efektivitas program dalam mendukung pembelajaran berbasis proyek serta menawarkan rekomendasi untuk pengembangan program serupa di masa mendatang.

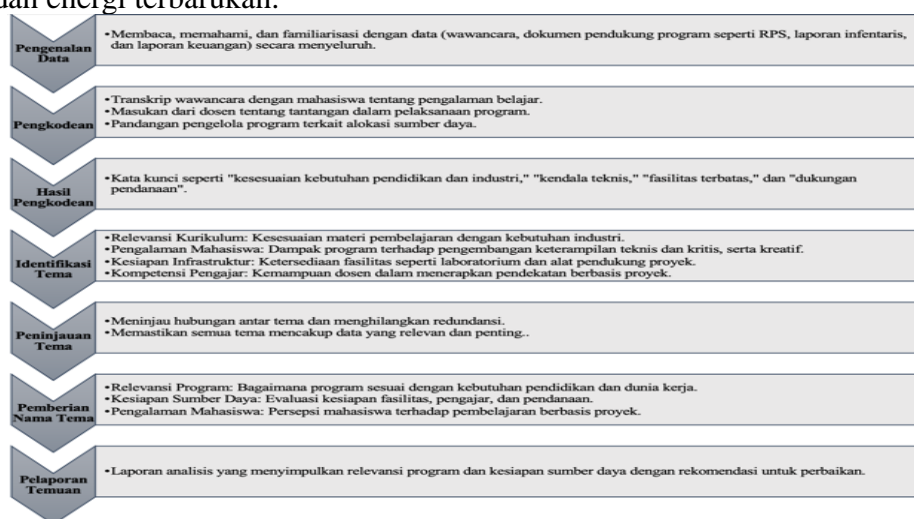
METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi program *waste to energy project-based learning* pada mata kuliah fisika lingkungan yang akan dilaksanakan di salah satu universitas swasta di Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat (NTB) dengan menggunakan model *context evaluation, input evaluation, process evaluation, dan product*

evaluation (CIPP) (Fitzpatrick et al., 2012). Namun pada penelitian ini akan dibatasi pada evaluasi context dan evaluasi input. Pendekatan kualitatif deskriptif digunakan untuk menggali persepsi mahasiswa, dosen, dan pengelola program terkait relevansi program terhadap kebutuhan pendidikan serta kesiapan sumber daya yang tersedia.

Data penelitian dikumpulkan melalui tiga metode utama: (1) wawancara semi-terbuka dengan dosen dan pengelola program untuk mengidentifikasi kesesuaian program dengan kebutuhan pendidikan dan kesiapan sumber daya; (2) kuesioner untuk menilai relevansi program terhadap kebutuhan mahasiswa serta kualitas materi pembelajaran; dan (3) analisis dokumen berupa rencana pembelajaran semester (RPS) untuk memastikan materi yang diajarkan sesuai dengan perkembangan terkini dalam pengelolaan limbah dan energi terbarukan.

Data yang terkumpul dianalisis dengan pendekatan tematik dan deskriptif menggunakan excel. Pendekatan tematik digunakan untuk mengidentifikasi pola-pola utama atau tema yang muncul dari data, seperti relevansi program terhadap kebutuhan pendidikan, efektivitas metode pengajaran, dan tantangan implementasi. Langkah-langkah dalam analisis tematik meliputi pengenalan data, pengkodean, identifikasi tema, peninjauan tema, pemberian nama tema, dan pelaporan temuan yang didukung oleh kutipan atau data relevan seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Pendekatan deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran yang rinci dan objektif mengenai konteks program, kesiapan sumber daya, serta relevansi materi pembelajaran tanpa memberikan interpretasi berlebihan. Data disajikan secara naratif untuk menggambarkan situasi secara utuh dan mendalam.



Gambar 1. Langkah-langkah Analisis Tematik

Kriteria penskoran kuesioner dengan 5 skala likert seperti yang ditampilkan dalam Tabel 1 di adaptasi dari Sugiyono (2013).

Tabel 1. Kriteria Penskoran

No	Skor	Keterangan
1	5	Sangat Baik
2	4	Baik
3	3	Cukup Baik
4	2	Kurang Baik
5	1	Tidak Baik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waste to energy project-based learning merupakan sebuah program yang akan dilaksanakan pada perkuliahan fisika lingkungan di salah satu universitas swasta di Sumbawa, NTB. Program ini sedang di rancang dengan alur seperti perencanaan dan persiapan, orientasi dan pengenalan program, pembentukan kelompok proyek, eksplorasi dan

penelitian, pengembangan solusi, presentasi dan diskusi, serta evaluasi dan refleksi. Namun, evaluasi yang dilakukan pada penelitian ini berfokus pada perencanaan dan persiapan yang dilakukan untuk melaksanakan program kedepannya.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Program *Waste to Energy Project-Based Learning*

Aspek Evaluasi	Kriteria Evaluasi	Mean Skor	Interpretasi
Context Evaluation	Tujuan Program	5	Sangat Relevan
	Kebutuhan Mahasiswa	3	Cukup Memadai
	Keterkaitan dengan Kurikulum	4	Mendukung
Input Evaluation	Sumber Daya Manusia (Dosen)	5	Sangat Cukup
	Materi Pembelajaran	4	Sesuai
	Fasilitas dan Peralatan	4	Memadai
	Pendanaan dan Waktu	4	Memadai

Hasil evaluasi terhadap program *waste to energy project-based learning* menunjukkan bahwa program ini memiliki relevansi yang sangat baik dengan kebutuhan pendidikan di bidang fisika lingkungan. Berdasarkan aspek *context evaluation*, tujuan program memperoleh skor rata-rata sebesar 5 yang diinterpretasikan sebagai "Sangat Relevan". Hal ini menunjukkan bahwa program telah dirancang untuk memenuhi kebutuhan pendidikan yang mendesak dalam bidang pengelolaan limbah dan energi terbarukan. Namun, kebutuhan mahasiswa hanya memperoleh skor rata-rata sebesar 3 yang diinterpretasikan sebagai "Cukup Memadai". Temuan ini menunjukkan bahwa program perlu memberikan perhatian lebih dalam membekali mahasiswa dengan pemahaman awal yang cukup mengenai pengelolaan limbah dan energi terbarukan sebelum mengikuti program. Sementara itu, keterkaitan program dengan kurikulum memperoleh skor 4, yang

menunjukkan bahwa program ini "Mendukung" tujuan pembelajaran dalam mata kuliah fisika lingkungan.

Pada aspek *input evaluation*, sumber daya manusia, terutama dosen yang terlibat, memperoleh skor rata-rata sebesar 5 yang diinterpretasikan sebagai "Sangat Cukup". Hal ini mencerminkan kompetensi dosen dalam memfasilitasi pembelajaran berbasis proyek yang mendukung keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa. Materi pembelajaran memperoleh skor rata-rata 4, yang menunjukkan bahwa konten yang disampaikan sesuai dengan perkembangan terkini dalam bidang pengelolaan limbah dan energi terbarukan. Fasilitas dan peralatan serta alokasi pendanaan dan waktu masing-masing memperoleh skor rata-rata sebesar 4, yang diinterpretasikan sebagai "Memadai". Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun sumber daya yang ada cukup mendukung pelaksanaan program, terdapat ruang untuk peningkatan agar dapat mencapai kualitas pembelajaran yang lebih optimal.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa program ini telah memenuhi sebagian besar kriteria evaluasi dengan baik, terutama pada aspek relevansi program dan kompetensi dosen. Namun, terdapat beberapa area yang memerlukan perhatian, seperti kebutuhan mahasiswa dan peningkatan fasilitas serta pendanaan. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan beberapa langkah perbaikan, antara lain menambahkan materi pendahuluan untuk meningkatkan pemahaman awal mahasiswa, memperbaiki fasilitas pendukung pembelajaran, serta mengeksplorasi sumber pendanaan tambahan untuk pengembangan program di masa depan.

Program *waste to energy project-based learning* menunjukkan relevansi yang tinggi dengan kebutuhan pendidikan di bidang pengelolaan limbah dan energi terbarukan. Pendekatan ini memanfaatkan

pembelajaran berbasis proyek untuk menghubungkan teori dengan praktik, memberikan mahasiswa pengalaman belajar yang aplikatif dan kontekstual. Relevansi ini konsisten dengan beberapa temuan yang menunjukkan bahwa PjBL dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa dan memfasilitasi pemahaman yang mendalam terhadap isu-isu kompleks (Chang et al., 2024; Hussein, 2021; Schaddelee & McConnell, 2018; Yu, 2024). Selain itu, PjBL memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mempelajari konsep-konsep yang sulit melalui pengalaman langsung, sehingga meningkatkan relevansi pembelajaran dengan kebutuhan dunia nyata (Malik & Zhu, 2023; Uziak, 2016).

Keunggulan lain dari program ini adalah kompetensi dosen yang mampu memfasilitasi pembelajaran berbasis proyek secara efektif. Sebagai fasilitator, dosen tidak hanya memberikan bimbingan teknis, tetapi juga mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa, yang merupakan tujuan utama dari PBL. Hal ini sejalan dengan beberapa pandangan yang menyatakan bahwa keberhasilan pembelajaran berbasis proyek sangat bergantung pada peran fasilitator yang kompeten dalam mendorong keterlibatan aktif mahasiswa (Belwal et al., 2020; Fernandes et al., 2014; Pan et al., 2020). Selain itu, Almulla (2020) menunjukkan bahwa fasilitator yang efektif dapat membantu mahasiswa membangun koneksi antara teori dan praktik, yang menjadi salah satu keunggulan utama program ini.

Namun, terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk memastikan keberhasilan program ini. Salah satu tantangan utama adalah kesiapan mahasiswa dalam memahami materi awal yang berkaitan dengan pengelolaan limbah dan energi terbarukan. Pemahaman dasar yang kurang memadai dapat menjadi hambatan

dalam proses pembelajaran berbasis proyek, yang sering kali menuntut keterlibatan aktif dan kemampuan berpikir analitis. Penelitian Parmelee et al., (2012) dan Yang (2017) menunjukkan bahwa sesi orientasi awal dapat meningkatkan kesiapan mahasiswa untuk memahami konsep-konsep yang kompleks. Oleh karena itu, penyediaan materi pendahuluan yang dirancang secara khusus menjadi langkah penting untuk memperkuat dasar-dasar kognitif mahasiswa. Namun, Mergendoller et al (2013) memberikan perspektif kritis dengan menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat menjadi tidak efektif jika panduan awal tidak memadai. Hal ini menggarisbawahi pentingnya penyusunan modul pengantar yang terstruktur untuk mendukung mahasiswa.

Selain itu, meskipun fasilitas dan peralatan yang tersedia dalam program ini dinilai memadai, ada potensi peningkatan untuk mendukung pembelajaran yang lebih efektif. Penyediaan laboratorium yang lebih lengkap dan alat-alat yang lebih canggih dapat memberikan pengalaman praktis yang lebih bermakna bagi mahasiswa. Fasilitas yang memadai adalah salah satu komponen kunci keberhasilan PBL, karena memungkinkan mahasiswa untuk mengeksplorasi solusi yang relevan dengan dunia nyata (Sudjimat et al., 2020; Syahlan et al., 2023). Namun Wróblewska & Okraszewska (2020) dan López et al (2020) mencatat bahwa relevansi fasilitas harus disesuaikan dengan konteks lokal dan kebutuhan spesifik mahasiswa, sehingga peningkatan fasilitas perlu dirancang secara strategis untuk memastikan efisiensi.

Keterbatasan waktu dan pendanaan juga menjadi kendala yang memengaruhi implementasi program ini. Meskipun kedua aspek ini cukup mendukung, pengembangan lebih lanjut akan membutuhkan tambahan sumber daya untuk memperluas cakupan dan

meningkatkan kualitas program. Kolaborasi dengan mitra eksternal, seperti industri atau lembaga pendanaan, dapat menjadi solusi yang efektif. Penelitian Rohm et al (2021) dan De Los Ríos-Carmenado et al (2015) menunjukkan bahwa kolaborasi semacam ini tidak hanya memberikan dukungan finansial, tetapi juga membuka peluang bagi mahasiswa untuk terlibat langsung dengan dunia profesional, memperkuat relevansi program dengan kebutuhan dunia kerja.

Secara keseluruhan, program ini memiliki fondasi yang kuat untuk dikembangkan dan dijalankan. Relevansi yang tinggi dengan kebutuhan pendidikan, kompetensi dosen, dan desain program yang aplikatif menjadi keunggulan yang harus dipertahankan. Namun, tantangan pada aspek kesiapan mahasiswa, penguatan fasilitas, dan optimalisasi pendanaan menjadi langkah penting untuk memastikan program ini dapat mencapai potensinya secara penuh. Selain itu, kritik dari Leal Filho et al (2016) dan Shpeizer (2019) menunjukkan bahwa implementasi PjBL perlu dipadukan dengan panduan yang jelas untuk meningkatkan efektivitasnya. Ke depan, program serupa dapat diadaptasi untuk diterapkan di mata kuliah lain yang relevan dengan isu lingkungan dan energi, menciptakan model pembelajaran yang lebih inklusif dan berkelanjutan.

Keterbatasan utama dalam penelitian ini adalah ruang lingkup yang terbatas pada satu institusi, sehingga temuan ini belum dapat digeneralisasi secara luas. Oleh karena itu, studi lanjutan disarankan untuk mengevaluasi implementasi program di berbagai institusi dengan karakteristik yang berbeda guna mendapatkan gambaran yang lebih menyeluruh. Selain itu, pendekatan kuantitatif yang mengukur dampak program terhadap hasil belajar mahasiswa dapat memberikan data yang lebih mendalam mengenai efektivitas program ini. Pendekatan yang lebih

komprensif, program ini dapat dikembangkan sebagai model pembelajaran berbasis proyek yang relevan dan inovatif, baik di tingkat lokal maupun global.

SIMPULAN DAN SARAN

Program *waste to energy project-based learning* menunjukkan relevansi tinggi dengan kebutuhan pendidikan di bidang fisika lingkungan, khususnya dalam pengelolaan limbah dan energi terbarukan. Pendekatan berbasis proyek, program ini berhasil menghubungkan teori dan praktik serta mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa. Kompetensi dosen sebagai fasilitator menjadi salah satu kekuatan utama program ini. Namun, beberapa tantangan seperti kesiapan mahasiswa, keterbatasan fasilitas, dan pendanaan memerlukan perhatian lebih. Penyediaan materi pendahuluan, penguatan fasilitas, dan kolaborasi dengan mitra eksternal menjadi langkah penting untuk meningkatkan efektivitas program. Program ini memiliki potensi besar untuk diterapkan lebih luas dan menjadi model pembelajaran berbasis proyek yang relevan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldabbus, S. (2018). Project-based learning: Implementation & challenges. *International journal of education, learning and development*, 6(3), 71-79.
- Almulla, M. A. (2020). The effectiveness of the project-based learning (PBL) approach as a way to engage students in learning. *SAGE Open*, 10(3), 1-15. <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>
- Altassan, A. (2023). Sustainable integration of solar energy, behavior change, and recycling practices in educational institutions: a holistic framework

- for environmental conservation and quality education. *Sustainability*, 15(20), 15157.
<https://doi.org/10.3390/su152015157>
- Sholeh, M. I., Tasya, D. A., Syafi'i, A., Rosyidi, H., Arifin, Z., & binti Ab Rahman, S. F. (2024). Penerapan pembelajaran berbasis proyek (PJBL) dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Tinta: Jurnal Ilmu Keguruan dan Pendidikan*, 6(2), 158-176.
- Belagra, M., & Draoui, B. (2018). Project-based learning and information and communication technology's integration: Impacts on motivation. *International Journal of Electrical Engineering and Education*, 55(4), 293-312.
<https://doi.org/10.1177/0020720918773051>
- Belwal, R., Belwal, S., Sufian, A. B., & Al Badi, A. (2020). Project-based learning (PBL): outcomes of students' engagement in an external consultancy project in Oman. *Education and Training*, 63(3), 336-359.
<https://doi.org/10.1108/ET-01-2020-0006>
- Chang, Y., Choi, J., & Şen-Akbulut, M. (2024). Undergraduate students' engagement in project-based learning with an authentic context. *Education Sciences*, 14(2), 168.
<https://doi.org/10.3390/educsci14020168>
- De Los Ríos-Carmenado, I., López, F. R., & García, C. P. (2015). Promoting professional project management skills in engineering higher education: Project-based learning (PBL) strategy. *International Journal of Engineering Education*, 31(1), 184-198.
- Fernandes, S., Mesquita, D., Flores, M. A., & Lima, R. M. (2014). Engaging students in learning: Findings from a study of project-led education. *European Journal of Engineering Education*, 39(1), 55-67.
<https://doi.org/10.1080/03043797.2013.833170>
- Fitzpatrick, J. L., Sanders, J. R., Worthen, B. R., & Wingate, L. A. (2012). *Program evaluation: Alternative approaches and practical guidelines*. Pearson Boston.
- Helle, L., Tynjälä, P., & Olkinuora, E. (2006). Project-based learning in post-secondary education theory, practice and rubber sling shots. *Higher Education*, 51(2), 287-314.
<https://doi.org/10.1007/s10734-004-6386-5>
- Hussein, B. (2021). Addressing collaboration challenges in project-based learning: The student's perspective. *Education Sciences*, 11(8), 434.
<https://doi.org/10.3390/educsci11080434>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267-277.
<https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Leal Filho, W., Shiel, C., & Paço, A. (2016). Implementing and operationalising integrative approaches to sustainability in higher education: the role of project-oriented learning. *Journal of Cleaner Production*, 133, 126-135.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.079>
- López, M. M. L., Meléndez, H. V., & Gámez, M. R. (2020). Project-based learning strategy: An innovative proposal for local

- education system. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24(1), 1666-81. <https://doi.org/10.37200/IJPR/V24I1/PR200267>
- Malik, K. M., & Zhu, M. (2023). Do project-based learning, hands-on activities, and flipped teaching enhance student's learning of introductory theoretical computing classes? *Education and Information Technologies*, 28(3), 3581-3604. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11350-8>
- McGibbon, C., & Van Belle, J. P. (2015). Integrating environmental sustainability issues into the curriculum through problem-based and project-based learning: a case study at the university of cape town. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 16, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.07.013>
- Mergendoller, J. R., Markham, T., Ravitz, J., & Larmer, J. (2013). Pervasive management of project-based learning: Teachers as guides and facilitators. *Handbook of classroom management* (593-626). Routledge.
- Ngereja, B., Hussein, B., & Andersen, B. (2020). Does project-based learning (PBL) promote student learning? a performance evaluation. *Education Sciences*, 10(11), 330. <https://doi.org/10.3390/educsci10110330>
- Pan, G., Seow, P. S., Shankararaman, V., & Koh, K. (2020). An exploration into key roles in making project-based learning happen: Insights from a case study of a university. *Journal of International Education in Business*, 14(1), 109-129. <https://doi.org/10.1108/JIEB-02-2020-0018>
- Parmelee, D., Michaelsen, L. K., Cook, S., & Hudes, P. D. (2012). Team-based learning: A practical guide: AMEE Guide No. 65. *Medical Teacher*, 34(5), 275-287. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2012.651179>
- Robichaud, L. B., & Anantatmula, V. S. (2011). Greening project management practices for sustainable construction. *Journal of Management in Engineering*, 27(1), 48-57. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000030](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000030)
- Rohm, A. J., Stefl, M., & Ward, N. (2021). Future proof and real-world ready: The role of live project-based learning in students' skill development. *Journal of Marketing Education*, 43(2), 204-215. <https://doi.org/10.1177/02734753211001409>
- Schaddelee, M., & McConnell, C. (2018). Analysing student perceptions to enhance engagement: An interdisciplinary, project-based learning programme. *Journal of International Education in Business*, 11(2), 161-177. <https://doi.org/10.1108/JIEB-09-2017-0034>
- Shpeizer, R. (2019). Towards a successful integration of project-based learning in higher education: Challenges, technologies and methods of implementation. *Universal Journal of Educational Research*, 7(8), 1765-1771. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070815>
- Solihat, R., Haqiqi, B. Y., & Widodo, A. (2024). Waste to energy: A STEM-ESD approach to improve student awareness and action in converting waste into eco-friendly

- energy. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(3), 1072–1085.
<https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i3.34330>
- Sudjimat, D. A., Nyoto, A., & Romlie, M. (2020). Implementation of project-based learning model and workforce character development for the 21st century in vocational high school. *International Journal of Instruction*, 14(1), 181-198.
<https://doi.org/10.29333/IJI.2021.14111A>
- Sugiyono, D. (2013). Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D.
- Syahlan, I. D., Hidayat, D. R., & Hidayat, O. S. (2023). Application of the project based learning model in elementary schools: Obstacles and solutions of science and environment content. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(4), 2060-2067.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.3285>
- Uziak, J. (2016). A project-based learning approach in an engineering curriculum. *Global Journal of Engineering Education*, 18(2), 119-123.
- Wang, A., Rauf, A., Ozturk, I., Wu, J., Zhao, X., & Du, H. (2024). The key to sustainability: In-depth investigation of environmental quality in G20 countries through the lens of renewable energy, economic complexity and geopolitical risk resilience. *Journal of Environmental Management*, 352, 120045.
- Wiek, A., Xiong, A., Brundiers, K., & van der Leeuw, S. (2014). Integrating problem and project-based learning into sustainability programs: A case study on the school of sustainability at Arizona state university. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 15(4), 431-449.
<https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2013-0013>
- Wilson, K. (2021). Exploring the challenges and enablers of implementing a STEM project-based learning programme in a diverse junior secondary context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19(5), 881-897.
<https://doi.org/10.1007/s10763-020-10103-8>
- Wróblewska, D., & Okraszewska, R. (2020). Project-based learning as a method for interdisciplinary adaptation to climate change-reda valley case study. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11), 4360.
<https://doi.org/10.3390/su12114360>
- Yang, D. (2017). Instructional strategies and course design for teaching statistics online: perspectives from online students. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 1-15.
<https://doi.org/10.1186/s40594-017-0096-x>
- Yang, D., Skelcher, S., & Gao, F. (2021). An investigation of teacher experiences in learning the project-based learning approach. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 15(4), 490-504.
<https://doi.org/10.11591/edulearn.v15i4.20302>
- Yu, H. (2024). Enhancing creative cognition through project-based learning: An in-depth scholarly exploration. *Heliyon*, 10(6), 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27706>