

## Pendidikan Karakter Sadar Lingkungan melalui Proyek Energi Alternatif dan Teknologi Otomasi di SMP: Pendekatan Humanis Berbasis Sains dan Coding

Uswatun Khasanah<sup>1</sup>, Kuncahyono<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Pedagogi, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang

e-mail: [uswahpedagogi186@webmail.umm.co.id](mailto:uswahpedagogi186@webmail.umm.co.id)

[uswahpedagogi@gmail.com](mailto:uswahpedagogi@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengkaji pembentukan karakter sadar lingkungan siswa melalui implementasi proyek energi alternatif dan otomasi sederhana berbasis sains dan teknologi. Penelitian dilaksanakan dalam pembelajaran tematik *Project-Based Learning* pada siswa SMP kelas IX melalui pengembangan *smart dustbin*, *smart transportation*, dan *automatic fire alarm*. Pendekatan yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan teknik observasi partisipatif dan wawancara mendalam terhadap siswa serta guru. Data dianalisis secara tematik menggunakan model Miles dan Huberman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek meningkatkan keterlibatan siswa, menjadikan proses belajar lebih menarik dan bermakna, serta menumbuhkan rasa ingin tahu dan kepedulian terhadap isu lingkungan. Selain itu, kegiatan proyek berkontribusi pada pengembangan kemampuan berpikir kritis, kolaboratif, dan literasi teknologi siswa, khususnya dalam pengenalan dasar *coding* dan sistem sensor. Temuan ini menegaskan bahwa pengalaman belajar langsung melalui proyek sains dan teknologi efektif dalam membangun karakter peduli lingkungan, sejalan dengan prinsip Merdeka Belajar dan penguatan pendidikan karakter.

**Kata kunci:** Pembelajaran Berbasis Proyek; Karakter Peduli Lingkungan; Literasi Teknologi; STEM–Coding; Pendidikan Sains

### Abstract

This study aims to examine the development of students' environmental awareness character through the implementation of alternative energy and simple automation projects based on science and technology. The research was conducted within thematic Project-Based Learning for Grade IX junior high school students through the development of *smart dustbin*, *smart transportation*, and *automatic fire alarm* projects. A descriptive qualitative approach was employed, using participatory observation and in-depth interviews with students and teachers. Data were analyzed thematically using the Miles and Huberman model. The findings indicate that project-based learning enhances student engagement, makes the learning process more interesting and meaningful, and fosters curiosity as well as concern for environmental issues. In addition, the projects contribute to the development of students' critical thinking, collaboration skills, and technological literacy, particularly in basic coding and sensor systems. These findings affirm that hands-on learning experiences through science and technology projects are effective in building environmental awareness character, in line with the principles of Merdeka Belajar and character education reinforcement.

**Keywords:** Project-Based Learning; Environmental Awareness Character; Technological Literacy; STEM–Coding; Science Education

## 1. Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan tantangan global paling signifikan abad ke-21 yang berdampak langsung pada keberlanjutan ekosistem, kesehatan, ekonomi, dan kehidupan sosial masyarakat. Dampak berupa kenaikan suhu, meningkatnya intensitas cuaca ekstrem, degradasi lingkungan, serta risiko bencana semakin nyata, khususnya di negara tropis dan kepulauan seperti Indonesia (Sagena et al., 2023; Arwan, 2022). Kondisi ini menuntut peran strategis pendidikan dalam membangun *environmental agency*, yaitu kesadaran, kemampuan berpikir kritis, serta kemauan peserta didik untuk memahami dan merespons isu lingkungan secara reflektif dan bertanggung jawab (Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives, 2022; Widiyastuti et al., 2024). Pendidikan tidak lagi cukup berorientasi pada penguasaan pengetahuan teoretis, melainkan harus mendorong aksi nyata dan perubahan perilaku berkelanjutan.

Dalam konteks nasional, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui *Panduan Pendidikan Perubahan Iklim bagi Satuan Pendidikan* menegaskan bahwa pendidikan iklim merupakan upaya sistematis untuk membekali peserta didik dengan pemahaman ilmiah iklim (*climate literacy*), keterampilan adaptasi dan mitigasi, serta keterlibatan dalam aksi perubahan (*climate action*) di tingkat satuan pendidikan (Kemristek, 2024). Integrasi ketiga pilar tersebut diharapkan mampu meningkatkan literasi lingkungan sekaligus membentuk karakter pelajar yang peduli, tangguh, dan bertanggung jawab terhadap keberlanjutan. Namun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa tingkat kepedulian lingkungan di kalangan remaja masih relatif rendah, sementara pembelajaran sains di sekolah cenderung bersifat teoritis sehingga peserta didik mengalami kesulitan mengaitkan konsep ilmiah dengan persoalan nyata, seperti sampah plastik dan kualitas udara (Hastuti et al., 2025).

Peserta didik juga kerap kesulitan menghubungkan pembelajaran IPA dengan isu konkret lainnya, seperti risiko kebakaran, penggunaan energi fosil, dan konsumsi energi berlebih. Padahal, pembelajaran yang memberikan pengalaman langsung, khususnya melalui proyek berbasis teknologi, terbukti mampu meningkatkan pemahaman konseptual, motivasi belajar, serta kepedulian ekologis siswa (Hermawan et al., 2022). Kurikulum Merdeka memberikan ruang luas bagi satuan pendidikan untuk mengembangkan pembelajaran kontekstual melalui pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL), yang mendorong peserta didik untuk menyelidiki masalah lingkungan, merancang solusi, memanfaatkan teknologi sederhana, serta mengevaluasi dampak tindakan yang dilakukan (Lisan, 2024). Efektivitas PjBL dalam meningkatkan *environmental awareness* dan partisipasi siswa dalam aksi keberlanjutan juga diperkuat oleh temuan Pękala dan Wichrowska (2022).

Sejalan dengan pendekatan tersebut, pengembangan proyek energi alternatif dan otomasi sederhana, seperti *smart dustbin*, *smart transportation*, dan *automatic fire alarm*—merupakan bentuk implementasi pendidikan iklim yang relevan dan aplikatif. Melalui proyek ini, siswa tidak hanya mempelajari konsep energi, sensor, dan sistem otomatis, tetapi juga menganalisis dampak lingkungan serta merancang solusi berbasis teknologi yang kontekstual. Keterlibatan langsung dalam aktivitas teknologis terbukti mampu meningkatkan literasi digital sekaligus memperkuat tindakan pro-lingkungan siswa (Rakhmawati et al., 2023; Ninsiana et al., 2024).

Urgensi pendekatan ini semakin menguat di tengah meningkatnya permasalahan lingkungan lokal, seperti abrasi pantai, permasalahan sampah sekolah, risiko kebakaran akibat kelalaian, penggunaan energi listrik berlebih, serta tingginya jejak karbon aktivitas harian. Pendidikan iklim yang terintegrasi dengan teknologi memberikan peluang bagi siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kolaboratif, dan kreatif, serta kompetensi abad ke-21 lainnya, sekaligus memperkuat karakter peduli lingkungan yang sejalan dengan Profil Pelajar Pancasila.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mendeskripsikan implementasi pembelajaran berbasis proyek dalam pengembangan energi alternatif dan otomasi sederhana pada siswa kelas IX, serta menganalisis kontribusinya terhadap pembentukan karakter sadar lingkungan. Karakter sadar lingkungan tidak hanya dipahami sebagai pengetahuan ekologis, tetapi juga tercermin dalam kepedulian nyata, kemampuan berpikir kritis, literasi teknologi, dan tindakan pro-lingkungan (Hermawan et al., 2022; Widiyawati et al., 2025; Kamaruzaman et al., 2025). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris terhadap pengembangan model pendidikan iklim berbasis proyek yang kontekstual, aplikatif, dan dapat direplikasi di berbagai satuan pendidikan.

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan model analisis data Miles dan Huberman untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai pengalaman dan perspektif siswa serta guru selama pelaksanaan pembelajaran berbasis proyek yang berfokus pada isu lingkungan. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan eksplorasi proses pembelajaran secara kontekstual dan holistik.

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama, yaitu observasi partisipatif, wawancara mendalam, dan dokumentasi. Observasi partisipatif memungkinkan peneliti terlibat langsung dalam kegiatan pembelajaran sehingga dapat mengamati dinamika interaksi siswa dan guru, partisipasi dalam proyek, kerja kelompok, serta respons siswa terhadap isu lingkungan. Pendekatan ini sejalan dengan temuan Widiastuti dan Dewi (2023) yang menegaskan pentingnya keterlibatan langsung dalam meningkatkan literasi ekologis peserta didik.

Wawancara mendalam dengan siswa dan guru dilakukan secara semi-terstruktur untuk menggali pengalaman, persepsi, serta refleksi mereka terhadap pembelajaran berbasis proyek. Teknik ini memberikan fleksibilitas bagi peneliti untuk mengeksplorasi tema-tema yang berkembang selama proses wawancara dan memungkinkan pengungkapan pandangan peserta secara lebih autentik (Simanihuruk & Sukma, 2023). Dokumentasi berupa catatan lapangan, foto kegiatan, dan artefak pembelajaran digunakan sebagai data pendukung untuk melengkapi hasil observasi dan wawancara. Dokumentasi ini berfungsi memperkaya konteks analisis serta memperkuat validitas temuan penelitian (Harahap et al., 2024).

Analisis data menggunakan model Miles, Huberman, dan Saldaña (2014) yang meliputi reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Reduksi data dilakukan untuk memfokuskan informasi yang relevan (Wicaksana et al., 2023), sedangkan penyajian data dalam bentuk narasi, tabel, dan bagan memudahkan identifikasi pola temuan (Munna et al., 2021). Kesimpulan ditarik melalui integrasi seluruh temuan untuk memperoleh gambaran komprehensif efektivitas pembelajaran berbasis proyek terhadap kesadaran dan tindakan prolingkungan siswa (Ningrum & Wijaya, 2023).

Penelitian dilaksanakan di SMP Juara Wirautama Indramayu dengan subjek siswa kelas 9A, 9B, dan 9C yang mengembangkan proyek *smart dustbin*, *smart transportation*, dan *automatic fire alarm* dalam konteks pembelajaran IPA berbasis *Project-Based Learning*. Keabsahan data dijamin melalui kredibilitas, keteralihan, dan kebergantungan (Sugiyono, 2023) dengan triangulasi sumber dan teknik serta *member checking* (Wahidah et al., 2023; Kraan et al., 2023; Ardissonne et al., 2023). Seluruh temuan disintesis menjadi konsep *humanized science learning* dengan validasi triangulasi (Creswell & Creswell, 2018; Nada & Suryadi, 2021) serta dirumuskan rekomendasi penguatan pembelajaran IPA berbasis proyek dalam konteks pendidikan iklim (Oktavianti & Febrianti, 2022).

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi proyek energi alternatif dan otomasi berbasis STEM Coding memberikan dampak signifikan terhadap dinamika pembelajaran, motivasi siswa, literasi teknologi, serta pembentukan karakter peduli lingkungan. Data yang diperoleh melalui observasi, wawancara siswa, guru pendamping, dan koordinator program membentuk pola tematik yang konsisten, meliputi meningkatnya antusiasme belajar, penguatan kemampuan teknis dalam coding dan perakitan rangkaian, serta berkembangnya nilai-nilai karakter ekologis dan sosial. Temuan ini memperkuat literatur sebelumnya yang menegaskan efektivitas pembelajaran berbasis proyek dalam pendidikan sains (Rahmawati et al., 2025).

Dari sisi pengalaman belajar, siswa menunjukkan perubahan nyata dalam suasana kelas dan cara memahami konsep IPA. Sebagian besar siswa menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek menjadikan proses belajar lebih menarik dan tidak membosankan. Temuan ini sejalan dengan hasil observasi guru pendamping yang mencatat peningkatan keaktifan, keberanian mencoba, serta antusiasme siswa ketika berinteraksi dengan perangkat elektronik. Siswa juga mengungkapkan bahwa pembelajaran IPA yang sebelumnya didominasi rumus menjadi lebih mudah dipahami melalui keterlibatan langsung dalam proyek *smart dustbin*, *smart transportation*, dan *automatic fire alarm*, khususnya dalam memahami konsep sensor, arus listrik, dan rangkaian. Pengalaman belajar berbasis *hands-on project* ini mendukung temuan Hoque (2022) dan Baran (2021) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis praktik mampu meningkatkan keterlibatan siswa, retensi konsep, dan kedalaman pemahaman sains. Dengan demikian, pembelajaran tidak lagi berorientasi pada hafalan, melainkan pada

interaksi langsung dengan objek, alat, dan fenomena nyata yang mendorong rasa ingin tahu serta pemahaman konseptual yang lebih bermakna.

Tabel 3.1. Hasil Wawancara

No	Informan	Pertanyaan	Ringkasan Jawaban	Tema
1	Guru Pendamping	Bagaimana perubahan sikap siswa selama proyek?	Siswa lebih aktif, berani mencoba, dan memahami bahwa teknologi dapat digunakan untuk hal nyata dan bermanfaat.	Antusiasme belajar
2	Guru Pendamping	Tantangan utama mendampingi siswa?	Siswa SMP masih awam dengan elektronik dan arus listrik, sehingga perlu bimbingan sabar dan detail.	Kesulitan teknis & pendampingan intensif
3	Guru Pendamping	Bagaimana respons siswa terhadap coding?	Coding adalah bagian paling sulit, tetapi siswa dapat belajar lebih cepat dengan bantuan guru Informatika.	Literasi teknologi
4	Guru Pendamping	Nilai karakter apa yang berkembang?	Tanggung jawab, kerja sama, dan kepedulian lingkungan meningkat; proyek 1 kelas menumbuhkan kekompakan.	Karakter & kolaborasi
5	Guru Pendamping	Kaitan proyek dan pendidikan lingkungan?	Siswa memahami bahwa listrik tidak hanya berasal dari PLTU; pentingnya hemat energi dan menggunakan bahan secara bijak.	Kepedulian lingkungan
6	Koordinator Program	Kontribusi proyek pada visi sekolah?	Selaras dengan arahan Kemendikbud mengenai AI dan coding; sekolah mendukung inovasi.	Keselarasan dengan Merdeka Belajar
7	Koordinator Program	Dampak nyata dari proyek ini?	Siswa sangat antusias karena terlibat langsung dan melihat hasil coding mereka bekerja.	Motivasi & engagement
8	Koordinator Program	Dukungan sekolah untuk keberlanjutan?	Akan ada "Best Project Class" dan rencana pameran robotik di akhir semester.	Keberlanjutan program
9	Koordinator Program	Penerimaan orang tua & masyarakat?	Orang tua sempat bertanya saat anak pulang sore, namun akhirnya mendukung setelah dijelaskan manfaatnya.	Dukungan eksternal

Pada proyek *smart dustbin*, siswa kelas 9A menunjukkan tingkat ketertarikan yang tinggi karena dapat mengamati secara langsung kinerja sensor gerak. Siswa terlibat aktif dalam proses *trial and error*, melakukan pengujian berulang, menyesuaikan posisi kabel, serta mengevaluasi kembali rangkaian ketika alat tidak berfungsi optimal.



Gambar 3.1. *Project Smart Dustbin*

Kegiatan ini mendorong penghayatan konseptual yang lebih mendalam terhadap mekanisme *triggering* sensor, yang umumnya sulit dipahami melalui penjelasan verbal semata. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Rahmawati et al. (2025) yang menegaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek meningkatkan pemahaman konsep melalui interaksi langsung dengan objek pembelajaran. Observasi peneliti menunjukkan bahwa siswa kelas 9A bekerja dalam kelompok yang kohesif, melakukan pembagian peran, dan saling memberikan dukungan saat menghadapi kendala teknis, sehingga penguatan aspek kolaboratif berlangsung seiring dengan perkembangan kognitif.

Pada proyek *smart transportation*, siswa kelas 9B memperlihatkan antusiasme tinggi terhadap aktivitas coding. Hasil wawancara mengungkapkan bahwa meskipun coding awalnya dipersepsikan sebagai aktivitas yang kompleks, pendampingan bertahap dari guru informatika membantu siswa memahami logika dasar pemrograman, seperti struktur *if-else*, *delay*, dan *digital output*. Salah satu siswa menyatakan bahwa keberhasilan mengoperasikan prototipe lampu lalu lintas mini sesuai instruksi menjadikan aktivitas coding sebagai bagian paling menarik dari proses pembelajaran.



Gambar 3.2. *Project Smart Transportation*

Temuan ini konsisten dengan penelitian Rizki (2024) dan Prastyaningrum et al. (2024) yang menunjukkan bahwa integrasi STEM dan coding berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan pemecahan masalah, kreativitas, serta kepercayaan diri siswa dalam memanfaatkan teknologi. Selain itu, proyek ini mendorong berkembangnya *ethical technology literacy*, yakni kesadaran siswa dalam memandang teknologi sebagai sarana yang memiliki nilai kemanfaatan sosial, bukan semata-mata sebagai objek permainan atau aktivitas teknis.

Pada kelas 9C, implementasi proyek *automatic fire alarm* turut menumbuhkan empati sosial. Siswa mengungkapkan keinginan agar perangkat yang dikembangkan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, khususnya di kawasan padat penduduk yang memiliki tingkat kerawanan kebakaran tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek tidak hanya berdampak pada aspek kognitif dan teknologis, tetapi juga memperkuat dimensi afektif dan nilai kepedulian sosial siswa.



Gambar 3.3. Miniatur *Fire Sensor* pada Gedung apartemen

Temuan penelitian menunjukkan munculnya nilai *environmental citizenship*, yakni kesadaran bahwa tindakan sederhana dapat memberikan dampak sosial dan ekologis yang bermakna (Nada & Suryadi, 2021). Observasi peneliti mengindikasikan bahwa siswa menjadi lebih reflektif, ditunjukkan melalui pertanyaan kritis mengenai mekanisme kerja sensor asap, proses deteksi suhu atau gas tertentu, serta urgensi pemanfaatan teknologi untuk membantu masyarakat. Data wawancara dengan guru menguatkan temuan ini, di mana siswa tampak semakin peduli terhadap isu penggunaan energi, penghematan listrik, dan peran perangkat elektronik dalam mendukung keberlanjutan lingkungan. Hasil ini sejalan dengan temuan Maryatun (2023) yang menegaskan bahwa pembelajaran berbasis nilai karakter berkontribusi pada peningkatan kepekaan siswa terhadap isu energi dan lingkungan.

Dari perspektif sosial, kolaborasi antarsiswa mengalami penguatan yang signifikan. Observasi menunjukkan bahwa pembagian tugas berlangsung secara alami dan partisipatif, disertai sikap saling mendukung ketika menghadapi kendala teknis, seperti gangguan rangkaian atau kesalahan *coding*. Proses ini mendorong siswa untuk saling mendengarkan, bernegosiasi, dan mengambil keputusan secara kolektif. Temuan tersebut memperkuat hasil penelitian Padiyo (2024) yang menekankan bahwa pembelajaran berbasis proyek efektif dalam mengembangkan kompetensi komunikasi, empati, dan negosiasi sebagai keterampilan kunci abad ke-21. Koordinator program juga menegaskan bahwa proyek ini menumbuhkan rasa kebersamaan, di mana hasil kerja dipandang sebagai representasi identitas kelas, bukan sekadar tugas individual.

Dari sudut pandang guru, implementasi pembelajaran STEM–Coding menghadirkan transformasi peran profesional. Guru pendamping tidak lagi berperan sebagai penyampai materi satu arah, melainkan sebagai fasilitator yang mendampingi proses belajar secara dialogis. Praktik ini sejalan dengan konsep pendidikan humanis yang menekankan relasi dua arah antara guru dan siswa dalam proses pembelajaran (Freire, 1972). Guru berperan dalam memberikan arahan teknis, memfasilitasi diskusi, serta merancang tantangan yang memicu kreativitas siswa, sehingga tercipta atmosfer kelas yang aman untuk bereksperimen, melakukan kesalahan, dan belajar secara reflektif.

Wawancara dengan koordinator program menunjukkan bahwa proyek ini sejalan dengan arah kebijakan Kemendikbud terkait penguatan literasi digital, *coding*, dan kecerdasan buatan. Sekolah merencanakan keberlanjutan program melalui pengembangan *Best Project Class*, pameran robotik, serta integrasi proyek lintas disiplin dalam kegiatan kokurikuler pada semester berikutnya. Dukungan kelembagaan ini menegaskan bahwa pembelajaran STEM–Coding tidak hanya berdampak pada capaian belajar siswa, tetapi juga mendorong perubahan budaya dan kebijakan sekolah.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek energi alternatif dan otomasi sederhana memberikan dampak komprehensif, meliputi peningkatan motivasi belajar, penguatan pemahaman konsep sains, pengembangan literasi teknologi, pembentukan karakter peduli lingkungan dan empati sosial, penguatan kolaborasi, serta terciptanya pembelajaran humanis yang memerdekakan siswa. Dengan demikian, implementasi proyek STEM–Coding di SMP Juara Wirautama tidak hanya meningkatkan capaian akademik, tetapi juga membentuk peserta didik yang berpikir kritis, mampu bekerja sama, dan memiliki kepekaan ekologis sebagai bekal menghadapi tantangan abad ke-21.

#### 4. Simpulan dan Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek energi alternatif dan otomasi sederhana berbasis STEM–Coding efektif meningkatkan pemahaman konsep sains dan literasi teknologi siswa melalui pengalaman belajar langsung (*hands-on learning*). Keterlibatan siswa dalam mengamati dan mengoperasikan sensor, arus listrik, rangkaian elektronika, serta *coding* membuat konsep IPA yang semula abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami. Temuan ini sejalan dengan Rahmawati (2023), serta diperkuat oleh Hoque et al. (2022) dan Baran (2021) yang menegaskan bahwa *hands-on project* meningkatkan keterlibatan dan retensi konsep sains.

Peningkatan literasi teknologi tampak jelas melalui penguasaan dasar *coding*, logika *if–else*, dan pemanfaatan sensor dalam proyek *smart transportation*. Meskipun awalnya dianggap sulit, proses pendampingan dan kolaborasi antarsiswa mampu meningkatkan kepercayaan diri dan kemampuan pemecahan masalah berbasis teknologi. Temuan ini konsisten dengan Padiyo (2024), Rizki et al. (2024), dan Prastyaningrum (2024) yang menegaskan efektivitas integrasi STEM dan *coding* dalam pengembangan kompetensi teknologi siswa. Selain aspek kognitif dan teknologis, pembelajaran berbasis proyek juga berkontribusi pada pembentukan karakter peduli lingkungan dan empati sosial. Proyek *automatic fire alarm* mendorong tumbuhnya *environmental citizenship*, ditandai oleh kesadaran siswa akan pemanfaatan teknologi untuk keselamatan dan kepentingan masyarakat (Nada & Suryadi, 2021; Putri & Rezanita, 2024). Kesadaran terhadap penghematan energi dan dampak lingkungan juga semakin menguat, sejalan dengan temuan Maryatun (2023).

Dari sisi sosial-pedagogis, pembelajaran proyek memperkuat kolaborasi, komunikasi, dan negosiasi antarsiswa, sebagaimana ditegaskan oleh Padiyo (2024). Peran guru bergeser menjadi fasilitator dalam pembelajaran dialogis yang humanis, sesuai dengan konsep *humanizing education* (Freire, 1972). Dengan demikian, pembelajaran STEM–Coding tidak hanya meningkatkan capaian akademik, tetapi juga membentuk peserta didik yang berpikir kritis, kolaboratif, dan memiliki kepekaan ekologis sebagai bekal menghadapi tantangan abad ke-21.

#### 5. Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada guru IPA, guru Informatika, serta segenap manajemen Yayasan Generasi Harapan atas dukungan, kepercayaan, dan kesempatan yang diberikan kepada para guru untuk terus berinovasi. Kontribusi yang diberikan, baik secara materiil maupun finansial, sangat mendukung terselenggaranya kegiatan proyek otomasi berbasis *coding* ini. Semoga upaya dan kolaborasi yang terjalin dapat terus memberikan kemanfaatan bagi pengembangan inovasi pendidikan yang berkelanjutan.

### Daftar Pustaka

- Ardissonne, A. N., Galindo-Gonzalez, S., Triplett, E. W., & Drew, J. C. (2023). Online and on-Campus Transfer Students Experienced Different Impacts From the Pandemic. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1067380>
- Arwan, J. F. (2022). The Urgency of Climate Change-Based Education for Sustainable Development. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Lingkungan Dan Pembangunan*, 22(02), 23–38. <https://doi.org/10.21009/plpb.222.03>
- Baran, M. (2021). Effects of Project-Based STEM Activities on Students' Collaboration and Attitudes Toward Science. *TUSED Journal*. Retrieved from <https://www.tused.org>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications. Retrieved from <https://us.sagepub.com/en-us/nam/research-design/book255675>
- Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*. (2022). UNESCO. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>
- Freire, P. (1972). *Pedagogy of the Oppressed*. Penguin Books. Retrieved from <https://archive.org/details/pedagogyofoppres00frei>
- Harahap, F. R., Tambunan, K., & Nasution, M. L. I. (2024). Strategi Pengembangan Ekonomi Kreatif Kriya Pada Pengrajin Kaligrafi Dalam Perspektif Ekonomi Islam (Studi Pada Toko Irjie Kaligrafi). *Jambura Economic Education Journal*, 6(2), 269–287. <https://doi.org/10.37479/jeej.v6i2.25026>
- Hastuti, A., Suprpto, P. K., Badriah, L., & Hernawati, D. (2025). Profil Literasi Biodiversitas Peserta Didik Kelas Vii SMP Negeri. *Learning Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 5(2), 674–683. <https://doi.org/10.51878/learning.v5i2.4885>
- Hermawan, I., Arjaya, I. B. A., & Diarta, I. M. (2022). BE-RAISE: A Blended-Learning Model Based on Balinese Local Culture to Enhance Student's Environmental Literacy. *Jurnal Pendidikan Ipa Indonesia*, 11(4), 552–566. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i4.39475>
- Hoque, F. (2022). Renewable Energy Education and Youth Engagement. *Sustainability*. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5273>
- Kamaruzaman, N. K. H., Osman, K., & Arsad, N. M. (2025). A Systematic Literature Review on the Role of E-Learning in Enhancing Environmental Literacy Among Primary School Students. *E-Bangi Journal of Social Science and Humanities*, 22(3). <https://doi.org/10.17576/ebangi.2025.2203.31>
- Kemristek. (2024). *Panduan Implementasi untuk Satuan Pendidikan*. (Anindito Aditomo (Kepala, Ed.) (1st ed.). Jakarta: Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan (BSKAP) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Jakarta.
- Kraan, Y. M. van der, Paap, D., Lennips, N., Veenstra, E. C. A., Wink, F., Kieskamp, S., & Spoorenberg, A. (2023). Patients' Needs Concerning Patient Education in Axial Spondyloarthritis: A Qualitative Study. *Rheumatology and Therapy*, 10(5), 1349–1368. <https://doi.org/10.1007/s40744-023-00585-7>
- Lisan, K. H. (2024). The Analysis of Kurikulum Operasional Madrasah as the Implementation of Merdeka Curriculum. *Jall (Journal of Applied Linguistics and Literacy)*, 8(1), 12. <https://doi.org/10.25157/jall.v8i1.12589>
- Maryatun, S. (2023). Project Based Learning Dalam Meningkatkan Aktivitas Dan Hasil Belajar Materi Kerajinan Bahan Limbah Keras. *Jurnal Sosial Teknologi*, 3(4), 278–288. <https://doi.org/10.36418/journalsostech.v3i4.671>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*. SAGE Publications. Retrieved from <https://methods.sagepub.com/book/qualitative-data-analysis>
- Munna, Z. N., Wijayanti, A., & Tanto, O. D. (2021). Peran Pola Komunikasi Orang Tua Terhadap Perkembangan Emosi Anak Usia 4-5 Di Masa New Normal. *Jurnal Obsesi Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 6(1), 401–409. <https://doi.org/10.31004/obsesi.v6i1.1334>
- Nada, H. N., & Suryadi, A. (2021). Environmental Education for Character Building. *JPBI*. Retrieved from <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jpbi/article/view/43103>
- Ningrum, N. A., & Wijaya, R. (2023). Penguatan Nilai-Nilai Anti Korupsi Dalam Pembelajaran Pendidikan Pancasila Dan Kewarganegaraan Pada Siswa Kelas VII Di SMP Negeri 1 Sidoarjo. *Pedagogika Jurnal Ilmu-Ilmu Kependidikan*, 3(1), 127–133.

- <https://doi.org/10.57251/ped.v3i1.1031>
- Oktavianti, U., & Febrianti, N. (2022). Analisis Kompetensi Pedagogik Guru Dalam Pembelajaran Secara Daring Di Madrasah Ibtidaiyah Al Mukhlis Jakarta Barat. *Jurnal Perseda ( Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar)*, 5(2), 146–153. <https://doi.org/10.37150/perseda.v5i2.1726>
- Padiyo, P. (2024). Upaya Pengembangan Hasil Belajar Ipa Materi Rangkaian Listrik Paralel Kelas Ix Melalui Model Pembelajaran Project Based Learning (Pjbl) SMP It Nurul Huda Keerom-Papua. *Tazkirah*, 8(2), 137–145. <https://doi.org/10.53888/tazkirah.v8i2.659>
- Pękala, J., & Wichrowska, K. (2022). Play and Participation in Preschool Children’s Project Activities. *Problemy Wczesnej Edukacji*, 54(1), 88–96. <https://doi.org/10.26881/pwe.2022.54.07>
- Prastyaningrum, I., Ardi, P., Purwandari, E., & Hidayat, W. (2024). Project-Based Learning in Smart Solar Panel System for Analysis 21st Century Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(9), 6756–6765. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i9.7639>
- Rahmawati, Y., Zuchriadi, A., Martini, N. P. D. A., & Sherila, A. M. (2025). Implementing IoT-Based Smart Garden System at SMP Al Izhar. *Academia Open*, 10(2). <https://doi.org/10.21070/acopen.10.2025.11246>
- Rizki, I. A. (2024). Renewable Energy Learning Project in Physics Class. *TEM Journal*. Retrieved from <https://www.temjournal.com>
- Sagena, U. W., Azizsyah, S. N., Panjaitan, O., Masjaya, M., M, M. H., & Sharifuddin, M. D. K. (2023). Program Triple C (Climate Change Class) Untuk Peningkatan Kesadaran Lingkungan Bagi Anak. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(4), 3238. <https://doi.org/10.31764/jmm.v7i4.15756>
- Simanihuruk, M., & Sukma, B. E. (2023). Peningkatan Kompetensi Dosen Vokasi Perhotelan Dalam Meningkatkan Kurikulum Melalui Program Pemagangan Di Industri Perhotelan. *Jurnal Abdi Masyarakat*, 3(2), 88–97. <https://doi.org/10.22334/jam.v3i2.47>
- Sugiyono. (2023). Metode Penelitian Kualitatif (Untuk penelitian yang bersifat: eksploratif, enterpretif, interaktif dan konstruktif). *Metode Penelitian Kualitatif*, 1–274. Retrieved from <http://belajarsikologi.com/metode-penelitian-kualitatif/>
- Wahidah, E. Y., Sirait, S., & Kusumaputri, E. S. (2023). Doctoral Student Experiences in Indonesian Postgraduate Programs: A Phenomenological Investigation of Challenges. *Al-Ishlah Jurnal Pendidikan*, 15(4), 4250–4261. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i4.4608>
- Wicaksana, M. F., Marmoah, S., & Nurhasanah, F. (2023). Tantangan Pembelajaran Online Menggunakan Learning Management System SPADA. *Kalam Cendekia Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 11(3). <https://doi.org/10.20961/jkc.v11i3.78013>
- Widiastuti, Y., & Dewi, N. K. (2023). Implementasi Manajemen Pembelajaran Di Paud Mekarsari Gondoriyo. *Kumara Cendekia*, 11(3), 280. <https://doi.org/10.20961/kc.v11i3.78605>
- Widiyastuti, D. A., Nurtamara, L., & Ulimaz, A. (2024). Analisis Kesadaran Dan Literasi Lingkungan Pada Mahasiswa Pendidikan Biologi. *Journal on Education*, 6(4), 18987–18997. <https://doi.org/10.31004/joe.v6i4.5880>
- Widiyawati, E., Suprpto, P. K., Nana, N., Hernawati, D., & Badriah, L. (2025). Profil Literasi Ekologi Peserta Didik Dalam Pembelajaran Ipa Di SMPN 1. *Edutech Jurnal Inovasi Pendidikan Berbantuan Teknologi*, 5(1), 8–17. <https://doi.org/10.51878/edutech.v5i1.4490>