



EFEKTIVITAS MODEL PEMBELAJARAN TERINTEGRASI ISU-ISU LINGKUNGAN BERBASIS TEKNOLOGI DI KOTA PEKALONGAN

Muhammad Ali Gunawan¹, Adib Muhammad², Efendy Supriadi³

¹Program studi Manajemen Pendidikan Islam, STAI Ki Ageng Pekalongan

²Program studi Ekonomi Syariah, STAI Ki Ageng Pekalongan

³Kepala Lab. Komputer, Universitas Pekalongan

Email: m.aligunawan@staikap.ac.id¹, adibmuhammad@staikap.ac.id², efendy.aprianto@gmail.com³

Diterima : 2 November 2024

Disetujui : 29 Desember 2025

Abstract

This study aims to measure the effectiveness of an integrated environmental issue-based learning model using technology in enhancing students' sensitivity and awareness in Pekalongan City, which faces various environmental challenges such as flooding and environmental degradation. The research was conducted at SDN Panjang Wetan, SMPN 2 Kota Pekalongan, and SMAN 4 Kota Pekalongan using purposive sampling technique. Data were collected through observations, interviews, and questionnaires administered to students and teachers. Data analysis employed descriptive statistics and t-test to evaluate changes in students' understanding and involvement with environmental issues after the implementation of the technology-based learning model. The results indicate that the model is effective in enhancing students' sensitivity and awareness of environmental problems, as well as their skills in applying technology to environmental solutions. The contribution of this study is the introduction of an innovative learning approach that is relevant to the current needs of environmental education. The implication is that the implementation of this model can strengthen sustainable education and foster students' responsible behavior towards the environment at elementary to secondary school levels.

Keywords: Integrated learning, environmental issues, educational technology, Pekalongan City.

1. PENDAHULUAN

Kota Pekalongan merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang menghadapi tantangan lingkungan yang serius, seperti penurunan tanah (Sarah et al., 2023), banjir rob (Miftakhudin, 2019.; Maharlika et al., 2020; Ibrahim, et al., 2024), pencemaran limbah batik (Widiastuti & Sulistianingsih, 2023), abrasi pantai (Ardha et al., 2022; Sodikin et al., 2023), dan permasalahan sampah (Handayani, 2021; Khairulbahri, 2022; Rayhan I'tisham et al., 2024; Widjajanti et al., 2024). Masalah ini tidak hanya memengaruhi kehidupan masyarakat secara langsung, tetapi juga mencerminkan kurangnya kesadaran lingkungan yang masih terbatas. Salah satu solusi potensial untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan mengintegrasikan isu-isu lingkungan ke dalam kurikulum sekolah. Pembelajaran berbasis teknologi telah terbukti meningkatkan

keterlibatan siswa dalam memahami konsep-konsep yang kompleks, seperti lingkungan (Carstens et al., 2021; Shadiev & Yang, 2020). Namun, di Pekalongan, penerapan teknologi dalam pembelajaran masih terbatas, terutama dalam kaitannya dengan isu-isu lingkungan lokal yang membutuhkan perhatian segera.

Teori konstruktivisme yang dikemukakan oleh Piaget dan Vygotsky menekankan pentingnya pengalaman langsung dalam pembelajaran (Nurhasnah et al., 2024). Penerapan teori ini pada pembelajaran lingkungan terbukti meningkatkan pemahaman siswa tentang hubungan manusia dengan alam. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi, seperti virtual reality (VR) (Asad et al., 2021; Slater et al., 2022; van der Meer et al., 2023) dan *augmented reality* (AR) (Alzahrani, 2020; Arena et al., 2022; Enzai et al., 2020; Gargish et al., 2020; Köse & Güner-

Yildiz, 2021; Sahu et al., 2021), dapat meningkatkan pemahaman siswa mengenai isu-isu lingkungan secara lebih mendalam. Menurut (Köse & Güner-Yildiz, 2021), pembelajaran berbasis AR meningkatkan kesadaran siswa terhadap isu-isu global seperti perubahan iklim. Demikian juga, penelitian yang dilakukan oleh (Carstens et al., 2021) menunjukkan bahwa teknologi pembelajaran berbasis simulasi lingkungan dapat membantu siswa memahami dampak dari praktik tidak berkelanjutan. Meskipun demikian, penelitian-penelitian ini masih berfokus pada isu-isu global, sementara tantangan lingkungan lokal seperti yang dialami di Pekalongan belum banyak mendapat perhatian dalam konteks pendidikan.

Meskipun teknologi telah banyak diterapkan dalam pendidikan lingkungan, masih terdapat gap dalam mengintegrasikan isu-isu lingkungan spesifik dengan kebutuhan lokal. Sebagian besar penelitian yang ada berfokus pada tantangan lingkungan global (Basar et al., 2021; Dakhi et al., 2020.; Nugroho et al., 2021), tanpa memberikan perhatian yang cukup terhadap masalah-masalah lokal seperti banjir rob, pencemaran industri, atau abrasi pantai yang berdampak langsung pada kehidupan masyarakat di Pekalongan. Selain itu, studi yang dilakukan oleh (Sökmen, 2021) mengungkapkan bahwa meskipun teknologi dapat meningkatkan pemahaman siswa, perubahan perilaku jangka panjang terkait kepedulian lingkungan masih belum konsisten. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian yang lebih kontekstual yang mengaitkan antara pembelajaran teknologi dengan isu-isu lingkungan spesifik untuk melihat dampak jangka panjangnya.

Penelitian ini sangat penting dilakukan, mengingat semakin meningkatnya dampak dari masalah lingkungan di Kota Pekalongan. Penurunan tanah dan banjir rob yang terus berulang mengancam keberlangsungan hidup masyarakat. Seiring dengan hal tersebut, pencemaran limbah batik yang tidak terkontrol juga memberikan ancaman bagi kesehatan lingkungan. Penelitian dari (Law & Liang, 2020; Yaguara et al., 2022; H. Zhang et al., 2020) menegaskan bahwa pendidikan yang terintegrasi dengan isu-isu lingkungan dapat mendorong

generasi muda untuk lebih peduli terhadap kelestarian lingkungan. Namun, di Pekalongan, model pembelajaran yang memanfaatkan teknologi untuk mempelajari isu-isu lingkungan lokal masih jarang diterapkan. Teknologi seperti pembelajaran berbasis simulasi, AR, dan analisis data real-time sangat relevan untuk memperkuat pengalaman belajar siswa, sehingga mereka tidak hanya memahami isu-isu tersebut secara teoretis, tetapi juga secara praktis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas model pembelajaran yang mengintegrasikan isu-isu lingkungan berbasis teknologi dalam meningkatkan sensitivitas dan kepedulian siswa terhadap masalah lingkungan. Pemanfaatan teknologi seperti simulasi berbasis data, AR, dan media digital interaktif, diharapkan siswa dapat lebih mudah memahami dan menginternalisasi dampak nyata dari masalah lingkungan lokal.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi penting pada pengembangan pembelajaran berbasis isu-isu lingkungan di daerah yang rentan terhadap dampak perubahan lingkungan. *Pertama*, penelitian ini akan memberikan wawasan baru tentang efektivitas teknologi dalam pendidikan lingkungan di konteks lokal, mengisi kekosongan literatur yang masih terfokus pada isu-isu global. *Kedua*, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengambil kebijakan pendidikan di Kota Pekalongan dan daerah lainnya untuk memasukkan isu-isu lingkungan lokal ke dalam kurikulum pendidikan berbasis teknologi. Temuan ini juga dapat diadaptasi oleh sekolah-sekolah lain yang menghadapi tantangan serupa. Terakhir, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi langsung pada pembentukan kesadaran lingkungan jangka panjang di kalangan siswa, yang menurut hasil penelitian terbaru oleh (Nasucha et al., 2023) sangat berpengaruh dalam menciptakan generasi yang lebih peduli dan aktif dalam upaya pelestarian lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kuasi eksperimen yaitu *One-Group Pretest-Posttest Design*, untuk mengukur efektivitas model pembelajaran

terintegrasi isu-isu lingkungan berbasis teknologi (Tanhan et al., 2020). Penelitian ini mencakup siswa di SDN Panjang Wetan, SMPN 2 Kota Pekalongan, dan SMAN 4 Kota Pekalongan. Subjek penelitian dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* (Thomas, 2022), yang mempertimbangkan sekolah-sekolah dengan potensi tinggi dalam mengadopsi teknologi dalam pembelajaran. Penelitian ini fokus pada pengaruh pembelajaran berbasis teknologi terhadap sensitivitas dan kepedulian siswa terhadap isu lingkungan lokal, seperti banjir rob, penurunan tanah, pencemaran limbah batik, abrasi pantai, dan masalah sampah. Lingkup penelitian mencakup analisis perilaku siswa sebelum dan sesudah implementasi model pembelajaran berbasis teknologi, yang diukur melalui survei dan observasi langsung.

Data dikumpulkan menggunakan kombinasi metode, yaitu observasi, wawancara, dan kuesioner (Persaud, 2021). Observasi dilakukan untuk mencatat keterlibatan siswa dalam aktivitas pembelajaran, sementara wawancara dilakukan dengan guru untuk mengukur persepsi terhadap implementasi model pembelajaran (Eungoo & Hwang, 2021). Kuesioner diberikan kepada siswa untuk mengevaluasi perubahan pemahaman, sensitivitas, dan kepedulian mereka terhadap isu lingkungan sebelum dan setelah penerapan pembelajaran berbasis teknologi (Grassini & Laumann, 2020). Variabel penelitian ini terdiri dari variabel independen, yaitu model pembelajaran terintegrasi isu-isu lingkungan berbasis teknologi, dan variabel dependen, yaitu sensitivitas dan kepedulian siswa terhadap isu lingkungan (Debrah et al., 2021). Sensitivitas didefinisikan sebagai tingkat kesadaran siswa terhadap isu lingkungan di sekitar mereka (Kron et al., 2021; Suryawati et al., 2020; Zahorák, 2023), sementara kepedulian mencakup tindakan proaktif siswa dalam mengatasi atau memitigasi dampak lingkungan di sekolah atau komunitas mereka (Kilag, et al., 2023; López & Palacios, 2024).

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan uji-t untuk melihat perbedaan yang signifikan antara sebelum dan setelah model diterapkan. Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan

frekuensi skor sebelum dan setelah model diterapkan, sedangkan uji-t digunakan untuk menguji hipotesis apakah terdapat perbedaan signifikan antara kedua kelompok tersebut (Sefidkar & Madadzadeh, 2022). Analisis data juga mencakup evaluasi terhadap respon siswa terkait perubahan perilaku lingkungan melalui model pembelajaran berbasis teknologi. Hasil analisis ini akan menunjukkan apakah model pembelajaran yang diterapkan efektif dalam meningkatkan pemahaman dan kepedulian siswa terhadap masalah lingkungan. Semua proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak R dan Microsoft Excel untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan (Kaya et al., 2019)

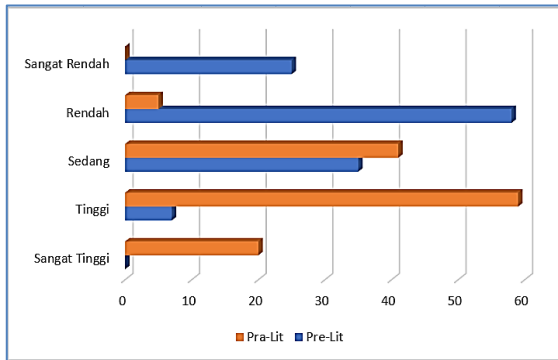
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian, terlihat adanya peningkatan signifikan dalam pemahaman siswa terhadap isu-isu lingkungan setelah penerapan model pembelajaran berbasis teknologi. Terjadi peningkatan rata-rata nilai sebelum model diterapkan sebesar 23,78, menjadi 28,38. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran memberikan dampak positif yang signifikan terhadap pemahaman siswa mengenai isu-isu lingkungan.

Selain peningkatan pemahaman, sensitivitas siswa terhadap masalah lingkungan seperti banjir rob dan pencemaran limbah batik juga meningkat setelah model diterapkan. Sebelum pembelajaran berbasis teknologi, siswa cenderung memiliki pandangan yang pasif terhadap isu lingkungan di sekitar mereka. Namun, setelah penerapan model pembelajaran, siswa mulai menunjukkan respons yang lebih proaktif, seperti mengidentifikasi masalah di lingkungan mereka dan merancang solusi. Hal ini berbanding terbalik dengan sebelum penerapan model, yang tidak menunjukkan perubahan perilaku yang signifikan.

Pada variabel kepedulian lingkungan, hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan signifikan setelah model diterapkan. Siswa mulai terlibat dalam kegiatan nyata untuk melestarikan lingkungan, seperti program daur ulang sampah dan kampanye lingkungan di sekolah. Analisis statistik deskriptif pada setiap

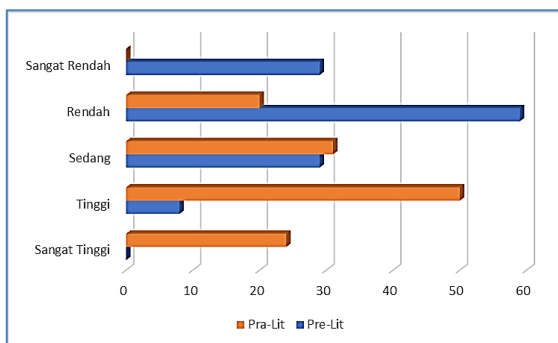
jenjang atau satuan Pendidikan menunjukkan bahwa setelah model diterapkan terjadi peningkatan yang signifikan, sebagaimana diuraikan berikut ini.



Gambar 1.

Tingkat sensitivitas dan kepedulian siswa SD terhadap isu-isu lingkungan di Kota Pekalongan

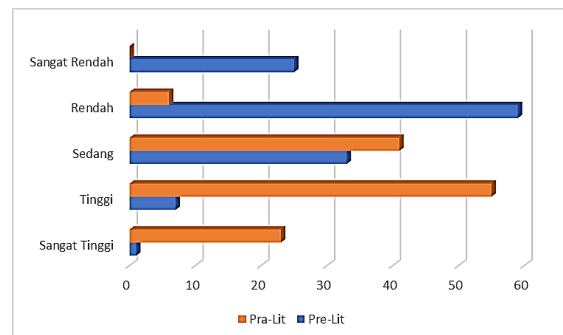
Berdasarkan grafik yang membandingkan tingkat sensitivitas dan kepedulian siswa SD terhadap isu-isu lingkungan di Kota Pekalongan sebelum (Pre-Lit) dan setelah (Pra-Lit) model pembelajaran diterapkan, terlihat perubahan yang signifikan. Sebelum model diterapkan (Pre-Lit), mayoritas siswa berada pada kategori Rendah dan Sedang. Namun, setelah model diterapkan (Pra-Lit), terjadi peningkatan yang signifikan pada kategori Tinggi dan Sangat Tinggi, sementara jumlah siswa di kategori Rendah dan Sangat Rendah menurun drastis. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran berbasis teknologi berhasil meningkatkan kesadaran dan kepedulian siswa terhadap isu-isu lingkungan secara signifikan, dengan lebih banyak siswa yang menunjukkan sensitivitas dan kepedulian yang lebih tinggi setelah model diterapkan.



Gambar 2.

Tingkat sensitivitas dan kepedulian siswa SMP terhadap isu-isu lingkungan di Kota Pekalongan

Berdasarkan grafik yang membandingkan tingkat sensitivitas dan kepedulian siswa SMP terhadap isu-isu lingkungan di Kota Pekalongan sebelum (Pre-Lit) dan setelah (Pra-Lit) model pembelajaran diterapkan, terlihat adanya perubahan yang cukup signifikan. Sebelum model diterapkan, mayoritas siswa berada pada kategori Rendah, diikuti oleh Sedang dan Sangat Rendah, yang menunjukkan rendahnya tingkat kepedulian dan sensitivitas siswa terhadap isu lingkungan. Namun, setelah model diterapkan, terjadi peningkatan yang nyata pada kategori Tinggi dan Sangat Tinggi, sedangkan jumlah siswa pada kategori Rendah dan Sangat Rendah menurun drastis. Hal ini menunjukkan bahwa model pembelajaran yang diterapkan berhasil meningkatkan kesadaran dan kepedulian siswa terhadap isu-isu lingkungan, mendorong mereka untuk lebih peka dan proaktif dalam menghadapi masalah lingkungan. Model ini terbukti efektif dalam mendorong perubahan positif pada sikap dan perilaku siswa terhadap lingkungan.



Gambar 3.

Tingkat sensitivitas dan kepedulian siswa SMA terhadap isu-isu lingkungan di Kota Pekalongan

Berdasarkan gambar 3 di atas diketahui bahwa tingkat sensitivitas dan kepedulian siswa SMA terhadap isu-isu lingkungan di Kota Pekalongan sebelum (Pre-Lit) dan setelah (Pra-Lit) penerapan model pembelajaran, terlihat perubahan yang cukup signifikan. Sebelum model diterapkan, mayoritas siswa berada pada kategori Rendah dan Sedang, dengan cukup banyak siswa yang berada pada kategori Sangat Rendah, yang menunjukkan rendahnya kesadaran terhadap isu lingkungan. Namun,

setelah model diterapkan, terjadi peningkatan yang signifikan pada kategori Tinggi dan Sangat Tinggi, sementara jumlah siswa di kategori Rendah dan Sangat Rendah menurun drastis. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran berbasis teknologi berhasil meningkatkan sensitivitas dan kepedulian siswa terhadap isu-isu lingkungan. Dengan demikian, model ini terbukti efektif dalam mendorong perubahan positif dalam pemahaman dan sikap siswa terhadap lingkungan.

Setelah dilakukan analisis menggunakan uji t-Test: *Paired Two Sample for Means*, hasilnya menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran berbasis teknologi memiliki efek yang signifikan terhadap peningkatan sensitivitas dan kepedulian siswa terhadap isu-isu lingkungan, sebagaimana ditampilkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Uji-t sampel berpasangan

	<i>Pre-Lit</i>	<i>Post-Lit</i>
Mean	23,78666667	28,376
Variance	53,54795009	52,652364
Observations	375	375
Pearson Correlation	0,096888261	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	374	
t Stat	-9,07466841	
P(T<=t) one-tail	3,30543E-18	
t Critical one-tail	1,648938048	
P(T<=t) two-tail	6,61087E-18	
t Critical two-tail	1,966327183	

Dari tabel 1 di atas terlihat dari peningkatan nilai rata-rata siswa dari 23,79 pada kondisi Pre-Lit (sebelum model diterapkan) menjadi 28,38 pada kondisi Post-Lit (setelah model diterapkan). Peningkatan ini mengindikasikan bahwa model pembelajaran yang digunakan efektif dalam meningkatkan pemahaman dan kesadaran siswa terhadap isu-isu lingkungan lokal seperti banjir rob, penurunan tanah, dan pencemaran limbah batik.

Nilai t-Statistik sebesar -9,07 serta p-Value yang sangat kecil (6,61E-18 untuk uji dua sisi) menunjukkan bahwa perbedaan antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan model sangat signifikan secara statistik. Nilai p yang mendekati nol ini menegaskan bahwa peningkatan yang terjadi bukan disebabkan oleh

kebetulan, melainkan merupakan hasil dari penerapan model pembelajaran yang terintegrasi dengan teknologi. Berdasarkan hasil analisis ini, dapat dikatakan bahwa model pembelajaran yang digunakan berhasil meningkatkan hasil belajar siswa, khususnya dalam hal sensitivitas dan kepedulian mereka terhadap isu-isu lingkungan. Penerapan model ini memberikan dampak positif yang signifikan dan layak dipertimbangkan untuk diterapkan di sekolah-sekolah lain yang menghadapi tantangan serupa.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model pembelajaran terintegrasi isu-isu lingkungan berbasis teknologi efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Alzahrani, 2020; Gargish et al., 2020; Köse & Güner-Yildiz, 2021) yang menemukan bahwa penggunaan teknologi *augmented reality* (AR) dalam pembelajaran lingkungan mampu meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep-konsep lingkungan yang kompleks, seperti perubahan iklim dan polusi udara. Teknologi memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan materi pembelajaran secara lebih interaktif, yang pada gilirannya memperdalam pemahaman mereka. Hasil ini mendukung teori konstruktivisme, di mana pembelajaran yang melibatkan pengalaman langsung lebih efektif dalam membentuk pengetahuan yang bermakna.

Peningkatan sensitivitas siswa terhadap isu-isu lingkungan setelah penerapan model ini juga signifikan. Sebelum implementasi model, sebagian besar siswa kurang menyadari dampak dari masalah lingkungan lokal, seperti banjir rob dan pencemaran limbah batik. Namun, setelah menerima pembelajaran terintegrasi isu-isu lingkungan lokal berbasis teknologi, siswa menjadi lebih peka dan terlibat aktif dalam mengidentifikasi serta mendiskusikan solusi untuk masalah tersebut. Penelitian oleh (Loderer et al., 2020) juga menemukan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran lingkungan mampu meningkatkan kesadaran siswa terhadap isu lingkungan global. Namun, perbedaan penelitian ini terletak pada fokus lokal, di mana sensitivitas siswa terhadap masalah yang langsung memengaruhi komunitas mereka lebih ditekankan. Teknologi membantu siswa

memahami bagaimana tindakan mereka berhubungan dengan dampak lingkungan, yang memperkuat relevansi pembelajaran.

Tidak hanya sensitivitas, perubahan perilaku siswa terkait kepedulian lingkungan juga menunjukkan hasil yang positif. Pada implementasi model siswa menunjukkan keterlibatan yang lebih tinggi dalam kegiatan nyata, seperti daur ulang sampah dan kampanye lingkungan. Penelitian ini mendukung temuan (Dakhi et al., 2020; El-Sabagh, 2021) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis teknologi mampu menginspirasi tindakan proaktif dalam konservasi lingkungan. Meskipun penelitian sebelumnya lebih berfokus pada dampak teknologi terhadap pemahaman konsep, penelitian ini menambahkan dimensi perilaku, menunjukkan bahwa teknologi tidak hanya meningkatkan pengetahuan, tetapi juga mendorong tindakan nyata. Namun, berbeda dengan penelitian (Zhang et al., 2020), yang menemukan bahwa perubahan perilaku siswa sering kali tidak berkelanjutan, penelitian ini menunjukkan bahwa dengan konteks lokal yang relevan, perubahan perilaku dapat lebih signifikan dan berjangka panjang.

Perbedaan yang mencolok antara sebelum dan setelah model diterapkan, menegaskan efektivitas model ini. Hal ini sejalan dengan temuan (Harjana et al., 2023) yang menyatakan bahwa pembelajaran konvensional sering kali kurang mampu menarik minat siswa terhadap isu-isu yang abstrak atau kompleks. Di sisi lain, setelah model diterapkan dengan menggunakan teknologi, siswa mampu merespons secara lebih antusias, menunjukkan bahwa media pembelajaran interaktif memberikan dampak yang lebih kuat dalam menarik perhatian siswa dan membuat mereka terlibat lebih aktif dalam proses pembelajaran.

Temuan penelitian ini mendukung teori konstruktivisme, di mana siswa tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga membangun pengetahuan mereka melalui interaksi dengan lingkungan dan teknologi. Teknologi memfasilitasi keterlibatan aktif siswa, sesuai dengan temuan penelitian oleh (McGovern et al., 2020) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis pengalaman dapat menciptakan dampak jangka panjang pada

perilaku siswa. Pengalaman interaktif yang disediakan oleh teknologi, seperti simulasi dan visualisasi masalah lingkungan, memungkinkan siswa untuk melihat langsung dampak dari tindakan manusia terhadap lingkungan.

Meskipun penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat positif, beberapa studi lain menunjukkan hasil yang berbeda. Sebagai contoh, penelitian (Zhang et al., 2020) menemukan bahwa teknologi sering kali lebih berfokus pada peningkatan pemahaman kognitif, tetapi tidak selalu berdampak signifikan pada perilaku siswa di luar kelas. Penelitian ini menekankan pentingnya relevansi lokal dalam pendidikan lingkungan, di mana keterlibatan dalam proses pembelajaran lebih maksimal, jika materi yang mereka pelajari terkait langsung dengan kehidupan mereka sehari-hari. Implikasi dari temuan ini adalah bahwa kurikulum pendidikan perlu dirancang dengan mempertimbangkan konteks lokal, sehingga hasil pembelajaran tidak hanya terbatas pada aspek kognitif, tetapi juga mengarah pada perubahan perilaku yang lebih berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa model pembelajaran terintegrasi isu-isu lingkungan berbasis teknologi efektif dalam meningkatkan pemahaman, sensitivitas, dan kepedulian siswa terhadap masalah lingkungan di Kota Pekalongan, seperti banjir rob dan pencemaran limbah batik, serta mendorong perubahan perilaku nyata dalam menjaga lingkungan. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah sampel yang terbatas pada tiga sekolah, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasikan secara luas. Selain itu, durasi penerapan model pembelajaran yang relatif singkat membatasi evaluasi dampak jangka panjang terhadap perilaku siswa. Penelitian di masa depan dapat memperluas cakupan sampel dengan melibatkan lebih banyak sekolah dan memperpanjang durasi penelitian untuk mengevaluasi keberlanjutan perubahan perilaku siswa dalam jangka panjang, serta mengeksplorasi penggunaan teknologi yang lebih canggih, seperti *artificial intelligence* (AI), untuk lebih mempersonalisasi pembelajaran lingkungan.

REFERENSI

- Alzahrani, N. M. (2020). Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10165660>
- Ardha, M., Khomarudin, M. R., Pranowo, W. S., Chulafak, G. A., Yudhatama, D., Mujio, & Pravitasari, S. (2022). Spatial information on the rate of subsidence in North Coastal Area of Java and the estimation of inundation in 2031. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012022>
- Arena, F., Collotta, M., Pau, G., & Termine, F. (2022). An Overview of Augmented Reality. In *Computers* (Vol. 11, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
- Asad, M. M., Naz, A., Churi, P., & Tahanzadeh, M. M. (2021). Virtual Reality as Pedagogical Tool to Enhance Experiential Learning: A Systematic Literature Review. In *Education Research International* (Vol. 2021). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2021/7061623>
- Basar, Z. M., Mansor, A. N., Jamaludin, K. A., & Alias, B. S. (2021). The Effectiveness and Challenges of Online Learning for Secondary School Students - A Case Study. *Asian Journal of University Education*, 17(3), 119–129. <https://doi.org/10.24191/ajue.v17i3.14514>
- Carstens, K. J., Mallon, J. M., Bataineh, M., & Al-Bataineh, A. (2021). Effects of Technology on Student Learning. In *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology* (Vol. 20, Issue 1).
- Dakhi, O., Jama, J., & Irfan, D. (n.d.). *BLENDED LEARNING: A 21ST CENTURY LEARNING MODEL AT COLLEGE*.
- Debrah, J. K., Vidal, D. G., & Dinis, M. A. P. (2021). Raising awareness on solid waste management through formal education for sustainability: A developing countries evidence review. *Recycling*, 6(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/recycling6010006>
- El-Sabagh, H. A. (2021). Adaptive e-learning environment based on learning styles and its impact on development students' engagement. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00289-4>
- Enzai, N. I. M., Ahmad, N., Ghani, M. A. H. A., Rais, S. S., & Mohamed, S. (2020). Development of Augmented Reality (AR) for Innovative Teaching and Learning in Engineering Education. *Asian Journal of University Education*, 16(4), 99–108. <https://doi.org/10.24191/ajue.v16i4.11954>
- Eungoo, K., & Hwang, H.-J. (2021). Ethical Conducts in Qualitative Research Methodology :Participant Observation and Interview Process*. *Journal of Research and Publication Ethics*, 2(2), 5–10. <https://doi.org/10.15722/jrpe.2.2.202109.5>
- Gargrish, S., Mantri, A., & Kaur, D. P. (2020). Augmented reality-based learning environment to enhance teaching-learning experience in geometry education. *Procedia Computer Science*, 172, 1039–1046. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.152>
- Grassini, S., & Laumann, K. (2020). Questionnaire Measures and Physiological Correlates of Presence: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00349>
- Handayani, A. (2021). Local government response to the impacts of climate change: A review of climate change strategies in Pekalongan, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 724(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012088>
- Harjana, M. N. S., Saputra, H. Y., & Tho, C. (2023). A Review of the Potential Use of Mixed Reality Learning Methods in Comparison to Traditional Learning Methods. *Procedia Computer Science*, 227, 734–742.

- <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.578>
- Ibrahim, M., Purnaweni, H., Aqila, A., Wulandari, D., Kismartini, K., Djumiarti, T., Qomariah, A., & Amelia, S. (2024, August 23). *Serious Flooding in Pekalongan City: What are the Government Policies in Tackling this Problem?* <https://doi.org/10.4108/eai.2-11-2023.2348205>
- Kaya, E., Agca, M., Adiguzel, F., & Cetin, M. (2019). Spatial data analysis with R programming for environment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(6), 1521–1530. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1470896>
- Khairulbahri, M. (2022). The qualitative analysis of the nexus dynamics in the Pekalongan coastal area, Indonesia. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15683-9>
- Kit, O., Kilag, T., Rose, A., Taboada, G., Zamora, M. B., Isaac, J., Rabi, I. A., & Calzada, J. R. Dela. (n.d.). *International Journal of Formal Education Exploring Effective Environmental Education Practices to Enhance Environmental Awareness and Education: A Navigational Study*. <http://journals.academiczone.net/index.php/ijfe>
- Köse, H., & Güner-Yildiz, N. (2021). Augmented reality (AR) as a learning material in special needs education. *Education and Information Technologies*, 26(2), 1921–1936. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10326-w>
- Kron, S., Sommerhoff, D., Achtner, M., & Ufer, S. (2021). Selecting Mathematical Tasks for Assessing Student's Understanding: Pre-Service Teachers' Sensitivity to and Adaptive Use of Diagnostic Task Potential in Simulated Diagnostic One-To-One Interviews. *Frontiers in Education*, 6. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.604568>
- Law, N., & Liang, L. (2020). A multilevel framework and method for learning analytics integrated learning design. *Journal of Learning Analytics*, 7(3), 98–117. <https://doi.org/10.18608/JLA.2020.73.8>
- Loderer, K., Pekrun, R., & Lester, J. C. (2020). Beyond cold technology: A systematic review and meta-analysis on emotions in technology-based learning environments. *Learning and Instruction*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.08.002>
- López, J. A., & Palacios, F. J. P. (2024). Effects of a Project-Based Learning Methodology on Environmental Awareness of Secondary School Students. *International Journal of Instruction*, 17(1), 1–22. <https://doi.org/10.29333/iji.2024.1711a>
- McGovern, E., Moreira, G., & Luna-Nevarez, C. (2020). An application of virtual reality in education: Can this technology enhance the quality of students' learning experience? *Journal of Education for Business*, 95(7), 490–496. <https://doi.org/10.1080/08832323.2019.1703096>
- Miftakhudin (2019). *STRATEGI PENANGANAN BANJIR ROB KOTA PEKALONGAN* (Vol. 19, Issue 1).
- Nasucha, M. R., Khozin, K., & Thoifah, I. (2023). Synergizing Islamic Religious Education and Scientific Learning in the 21st Century: A Systematic Review of Literature. *Jurnal Pendidikan Agama Islam (Journal of Islamic Education Studies)*, 11(1), 109–130. <https://doi.org/10.15642/jpai.2023.11.1.109-130>
- Nugroho, A., Ilmiani, D., & Rekha, A. (2021). EFL Teachers' Challenges and Insights of Online Teaching amidst Global Pandemic. *Metathesis: Journal of English Language, Literature, and Teaching*, 4(3), 277. <https://doi.org/10.31002/metathesis.v4i3.3195>
- Nurhasnah, N., Sepriyanti, N., & Kustati, M. (2024). Learning Theories According to Constructivism Theory. *Journal International Inspire Education*

- Technology, 3(1), 19–30.
<https://doi.org/10.55849/jiiet.v3i1.577>
- Persaud, A. (2021). Key competencies for big data analytics professions: a multimethod study. *Information Technology and People*, 34(1), 178–203.
<https://doi.org/10.1108/ITP-06-2019-0290>
- Ramadhani Maharlika, A., Prawata Hadi, S., Kismartini, & Lentu Hoya, A. (2020). Tidal flooding and coastal adaptation responses in Pekalongan City. *E3S Web of Conferences*, 202.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206027>
- Rayhan I'tisham, M., Chusniyah, T., Aulia Hakim, S., Setyo Pambudi, K., & Angelina Zahra, G. (2024, July 17). *Poverty And Climate Change Awareness: A Lesson From Pekalongan*.
<https://doi.org/10.4108/eai.24-11-2023.2346487>
- Sahu, C. K., Young, C., & Rai, R. (2021). Artificial intelligence (AI) in augmented reality (AR)-assisted manufacturing applications: a review. *International Journal of Production Research*, 59(16), 4903–4959.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1859636>
- Sarah, D., Soebowo, E., Sudrajat, Y., Satriyo, N. A., Putra, M. H. Z., & Wahyudin. (2023). Mapping the environmental impacts from land subsidence hazard in Pekalongan City and its correlation with the subsurface condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012044>
- Sefidkar, R., & Madadzadeh, F. (2022). A Tutorial on Quasi-Experimental Designs Letter to the Editor. In *Sefidkar R, Madadzadeh F. A Tutorial on Quasi-Experimental Designs. J Community Health Research* (Vol. 11, Issue 1).
<https://www.scribbr.com/>
- Shadiev, R., & Yang, M. (2020). Review of studies on technology-enhanced language learning and teaching. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 2). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/su12020524>
- Slater, M., Banakou, D., Beacco, A., Gallego, J., Macia-Varela, F., & Oliva, R. (2022). A Separate Reality: An Update on Place Illusion and Plausibility in Virtual Reality. In *Frontiers in Virtual Reality* (Vol. 3). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/frvir.2022.914392>
- Sodikin, S., Nurismawati, N., Nulhakim, T. R., Muna, S. U. N., & Hidayat, R. (2023). Assessment of Ecotourism Potential of Mangrove Park Pekalongan Central Java and its Development Strategy. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)*, 10(2).
<https://doi.org/10.20527/jpg.v10i2.15220>
- Sökmen, Y. (2021). The role of self-efficacy in the relationship between the learning environment and student engagement. *Educational Studies*, 47(1), 19–37.
<https://doi.org/10.1080/03055698.2019.1665986>
- Suryawati, E., Suzanti, F., Zulfarina, Putriana, A. R., & Febrianti, L. (2020). The implementation of local environmental problem-based learning student worksheets to strengthen environmental literacy. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(2), 169–178.
<https://doi.org/10.15294/jpii.v9i2.22892>
- Tanhan, A., Karaman, M. A., & Nalbant, A. (2020). The Effect of Counselling on Anxiety Level from the Perspective of Ecological Systems Theory: A Quasi-experimental Pre-test - Post-test Control Group Study. *International Journal of Psychology and Educational Studies*, 7(3), 58–69.
<https://doi.org/10.17220/ijpes.2020.03.006>
- Thomas, F. B. (2022). *The Role of Purposive Sampling Technique as a Tool for Informal Choices in a Social Sciences in Research Methods*. 2(5). www.justagriculture.in
- van der Meer, N., van der Werf, V., Brinkman, W. P., & Specht, M. (2023). Virtual reality and collaborative learning: a systematic literature review. In *Frontiers in Virtual Reality* (Vol. 4). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1159905>
- Widiastuti, A., & Sulistianingsih, D. (2023, December 29). *The Ability of*

- Environmental Law to Enforce Violations Committed by Batik Entrepreneurs.*
<https://doi.org/10.4108/eai.27-7-2022.2342458>
- Widjajanti, R., Susilowati, E., Kurniawati, W., & Kartika, A. A. (2024). The study of Jetayu Park potential as sustainable urban landscape for street vendors activity space in Pekalongan City, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1394(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1394/1/012013>
- Yaguara, J. A., Villalobos Salinas, N. P., & Otálora Caviche, J. (2022). Exploring the Implementation of CLIL in an EFL Virtual Learning Environment. *Latin American Journal of Content & Language Integrated Learning*, 14(2), 187–214. <https://doi.org/10.5294/lacil.2021.14.2.1>
- Zahorák, A. (n.d.). Sensitivity of translation and interpreting students to cultural phenomena in literary texts Sensitivity of translation and interpreting (T&I) students to cultural phenomena in literary texts. In *Bridge: Trends and Traditions in Translation and Interpreting Studies* (Vol. 4, Issue 2).
- Zhang, B., Luo, J., & Li, J. (2024). Moving beyond Likert and Traditional Forced-Choice Scales: A Comprehensive Investigation of the Graded Forced-Choice Format. *Multivariate Behavioral Research*, 59(3), 434–460. <https://doi.org/10.1080/00273171.2023.2235682>
- Zhang, H., Yu, L., Ji, M., Cui, Y., Liu, D., Li, Y., Liu, H., & Wang, Y. (2020). Investigating high school students' perceptions and presences under VR learning environment. *Interactive Learning Environments*, 28(5), 635–655. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1709211>