

VALIDASI KONSTRUK LITERASI SAINS DAN SIKAP PEDULI LINGKUNGAN MENGGUNAKAN MULTI-GROUP STRUCTURAL EQUATION MODELING (SEM)

LUKMAN NURHAKIM¹, ANIS TRI YULIANA²

Universitas PGRI Sumenep^{1,2}

lukmannurhakim@stkipgrisumenep.ac.id

anistriyuliana@stkipgrisumenep.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi model pengukuran literasi sains dan sikap peduli lingkungan dalam konteks pembelajaran IPAS berbasis etnosains di Pulau Oksigen, Gili Iyang, Indonesia. Sebanyak 250 siswa sekolah dasar berpartisipasi, dan data dianalisis menggunakan Confirmatory Factor Analysis (CFA) serta Structural Equation Modeling (SEM) multi-kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pengukuran memiliki validitas konstruk yang baik, ditunjukkan oleh nilai factor loading di atas 0,60 serta Composite Reliability antara 0,763 hingga 0,816. Model struktural mengungkapkan bahwa literasi sains secara signifikan mempengaruhi sikap peduli lingkungan ($\beta = 0,487$; $p < 0,001$), didukung oleh indeks kecocokan model yang sangat baik (CFI = 1,000; TLI = 1,033; RMSEA = 0,000). Analisis multi-kelompok memperlihatkan bahwa pengaruh literasi sains terhadap sikap peduli lingkungan lebih besar pada kelompok etnosains ($\beta = 0,572$) dibandingkan kelompok non-etnosains ($\beta = 0,266$). Uji perbedaan chi-square mengonfirmasi ketidakberlakuan invariansi model ($\Delta\chi^2 = 38,159$; $p < 0,01$), menunjukkan bahwa konteks budaya lokal berfungsi sebagai moderator yang memperkuat hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan. Temuan ini memvalidasi model pengukuran berbasis budaya dan menegaskan peran pembelajaran etnosains dalam meningkatkan literasi sains dan sikap peduli lingkungan siswa. Secara teoretis dan praktis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan kurikulum IPAS berbasis kearifan lokal yang mendukung pendidikan berkelanjutan dan implementasi Profil Pelajar Pancasila.

Kata Kunci: Literasi Sains, Sikap Peduli Lingkungan, SEM multi-group, Validasi Konstruk

A. PENDAHULUAN

Tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi ekosistem, dan peningkatan polusi udara menegaskan urgensi penguatan kesadaran ekologis sejak pendidikan dasar.¹ Pada jenjang sekolah dasar, literasi sains dan sikap peduli lingkungan merupakan

¹ Fang, S.-C. (2018). The influence of parental education on the environmental education of pre-schoolers: A case study of self-designed picture book. *Journal of Baltic Science Education*, 17(2), 187–199

kompetensi kunci abad ke-21 yang diperlukan untuk membentuk generasi yang reflektif, adaptif, dan bertanggung jawab terhadap keberlanjutan bumi.² Literasi sains tidak hanya mencakup pemahaman konsep-konsep ilmiah, tetapi juga kemampuan menggunakan pengetahuan tersebut dalam membuat keputusan yang mendukung kelestarian lingkungan.³ Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa literasi sains siswa sekolah dasar di Indonesia masih berada pada tingkat rendah, terutama terkait kemampuan mengaplikasikan konsep ilmiah dalam konteks lingkungan.⁴

Rendahnya literasi sains tersebut tidak hanya berkaitan dengan aspek kognitif, tetapi juga dipengaruhi oleh praktik pembelajaran yang kurang mengintegrasikan konteks budaya dan ekologis lokal.⁵ Oleh karena itu, integrasi etnosains yang berakar pada praktik budaya masyarakat setempat menjadi pendekatan strategis untuk menjembatani konsep ilmiah dengan pengalaman nyata siswa.⁶ Pembelajaran yang memanfaatkan konteks budaya lokal terbukti meningkatkan relevansi materi serta keterhubungan emosional siswa terhadap isu lingkungan, sehingga potensi pembelajaran untuk membentuk kesadaran ekologis menjadi lebih kuat.⁷

Dalam konteks tersebut, Pulau Oksigen (Gili Iyang, Sumenep) yang dikenal memiliki kualitas udara tertinggi di Indonesia menyediakan sumber etnosains yang kaya melalui praktik ekologis warganya, seperti pengelolaan vegetasi alami, pola hidup sehat, dan komitmen menjaga kualitas udara. Karakteristik ini menjadikan wilayah tersebut sebagai lingkungan belajar alami untuk mengembangkan pembelajaran IPAS berbasis etnosains.⁸ Pendekatan etnosains memadukan pengetahuan lokal dengan konsep ilmiah

² Alarcon, D. A. U., Talavera-Mendoza, F., & Paucar, F. H. R. (2025). Evaluation of the Serious Game ABCCI: Usability and Gamification in Teacher Training for Science Education and Environmental Sustainability. *IEEE Access*

³ Kumar, V., Choudhary, S. K., & Singh, R. (2024). Environmental socio-scientific issues as contexts in developing scientific literacy in science education: A systematic literature review. In *Social Sciences and Humanities Open* (Vol. 9).

⁴ Latif, A., Pahru, S., & Muzakkar, A. (2022). Studi Kritis Tentang Literasi Sains dan Problematikanya di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(6), 9878–9886

⁵ PISA 2018 results. (20192020). OECD.

⁶ Aikenhead, G. S., & Ogawa, M. (2007). Indigenous knowledge and science revisited. *Cultural Studies of Science Education*, 2(3), 539–620

⁷ Sievers, E., Spierenburg, M., Jhagroe, S. S., & van Oudenhoven, A. P. E. (2024). Place-based knowledge transfer in a local-to-global and knowledge-to-action context: key steps and facilitative factors. *Ecology and Society*, 29(3)

⁸ Slikkerveer, L. J., & Gellaerts, S. L. (2024). The indigenous knowledge systems-based ethnoscientific model of integrated eco-education (IEE): Multicultural prospects of environmental education. In *Fostering an Ecological Shift Through Effective Environmental Education* (pp. 108–137).

modern sehingga mampu memperdalam pemahaman siswa sekaligus menumbuhkan nilai-nilai ekologis yang berakar pada budaya.⁹ Dalam pembelajaran IPAS, integrasi konteks etnosains terbukti memperkuat relevansi materi dan mendukung internalisasi kearifan lokal dalam upaya pelestarian lingkungan.¹⁰

Berbagai penelitian menunjukkan efektivitas etnosains dalam meningkatkan pemahaman konsep ilmiah dan sikap ilmiah siswa.¹¹ Namun, kajian yang berfokus pada pengembangan model pengukuran yang valid dan reliabel untuk menilai literasi sains serta sikap peduli lingkungan dalam konteks budaya lokal masih terbatas.¹² Sebagian besar instrumen yang tersedia dikembangkan pada konteks perkotaan dan belum sepenuhnya mempertimbangkan dimensi budaya serta praktik ekologis Masyarakat.¹³ Selain itu, penelitian sebelumnya cenderung memisahkan pengukuran literasi sains dan sikap peduli lingkungan, padahal keduanya saling terkait secara konseptual dalam pembelajaran IPAS yang bersifat holistik.¹⁴

Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini bertujuan untuk: (1) memvalidasi konstruk dan model pengukuran literasi sains serta sikap peduli lingkungan dalam pembelajaran IPAS berbasis etnosains, dan (2) menganalisis pengaruh kontekstual etnosains terhadap hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan melalui SEM multi-kelompok. Penelitian ini diharapkan memperkaya pengembangan teori literasi sains dan etnosains, serta memberikan kontribusi praktis bagi perancangan kurikulum, media pembelajaran, asesmen autentik, dan kebijakan pendidikan berkelanjutan berbasis budaya lokal.

⁹ Fitria, D., & Handrianto, C. (2025). Integrating Blended Problem-Based Learning with Ethnoscience to Develop Twenty-First-Century Skills in Middle School Science Education. *International Journal of Pedagogy and Curriculum*, 32(2), 165–188

¹⁰ Sihombing, R. A., Anwar, S., Liu, S.-Y., Muslim, M., Winarno, N., & Sihombing, P. J. (2025). Integrating Local Wisdom into Environmental Education: A Systematic Review of Ethnoscience Research in Indonesia. *Journal of Natural Science and Integration*, 8(1), 57

¹¹ Dewi, C. A., Erna, M., Martini, Haris, I., & Kundera, I. N. (2021). Effect of Contextual Collaborative Learning Based Ethnoscience to Increase Student's Scientific Literacy Ability. *Journal of Turkish Science Education*, 18(3), 525–541

¹² Mulyana, V., & Desnita, D. (2023). Empirical Validity and Reliability of the Scientific Literacy Assessment Instrument Based on the Tornado Physics Enrichment Book. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(5), 3961–3967

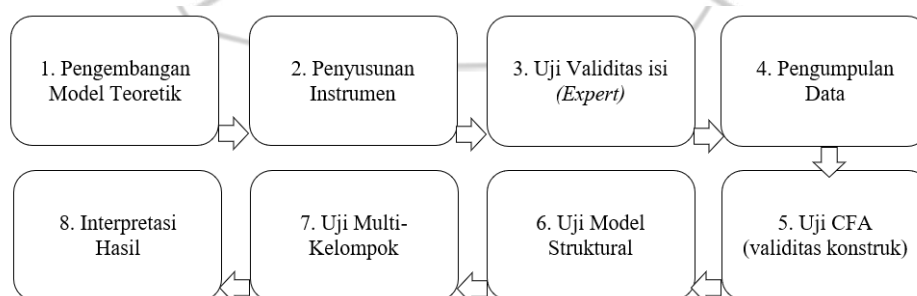
¹³ A. Samad, N. S., Abdul-Rahim, A. S., Mohd Yusof, M. J., & Tanaka, K. (2020). Assessing the economic value of urban green spaces in Kuala Lumpur. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10367–10390

¹⁴ Arisma, N., Septiani, R., Husna, A. R., Rifa'i, A., & Erika, F. (2024). Literature Review Penerapan Pembelajaran Sains Berbasis Lingkungan untuk Meningkatkan Sikap Peduli Lingkungan Siswa. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 13(1), 53

B. METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan *Structural Equation Modeling* (SEM) sebagai metode analisis utama. Fokus penelitian adalah pada validasi model pengukuran (*measurement model*) dan pengujian invariansi antar kelompok (Etnosains dan Non-Etnosains) menggunakan SEM Multi-Kelompok (*Multi-Group Analysis*). Proses penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yang dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Desain¹⁵ penelitian ini mengacu pada pendekatan *construct validation* yang disarankan, di mana model teoritis diuji secara empiris untuk memastikan stabilitas dan kesesuaian dimensi faktor dalam konteks yang diteliti.

2. Subjek Penelitian

Penelitian ini melibatkan 250 siswa sekolah dasar yang berasal dari enam sekolah dasar di Kabupaten Sumenep, Provinsi Jawa Timur, yang terletak di kawasan Pulau Oksigen (Gili Iyang). Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *stratified cluster sampling*, dengan mempertimbangkan keragaman lokasi dan karakteristik sekolah yang berbeda, yaitu desa pesisir dan non-pesisir.

Stratifikasi dilakukan berdasarkan dua karakteristik geografis Pulau Oksigen, yaitu desa pesisir dan non-pesisir, yang masing-masing memiliki variasi budaya dan praktik etnosains. Pendekatan ini diperlukan untuk memastikan bahwa konteks ekologis dan budaya lokal diwakili dalam sampel penelitian. Dengan demikian, hasil

¹⁵ Jap, J. J., Soesilo, T. E. B., & Tumuyu, S. S. (2021). Assessing urban agriculture's development in Central Jakarta. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 716(1)

yang diperoleh dapat lebih mewakili kondisi nyata dan relevansi lokal dari pembelajaran berbasis etnosains.

Responden penelitian terdiri dari 110 siswa laki-laki dan 140 siswa perempuan, semua berada di kelas V. Seluruh siswa yang terlibat dalam penelitian ini telah mengikuti pembelajaran IPAS bertema *Kualitas Udara dan Kehidupan Sehat*, yang dikembangkan menggunakan pendekatan etnosains lokal.

Tabel 2. Karakteristik Demografis Responden

Karakteristik	Kategori	N	Persentase %
Jenis Kelamin	Laki-laki	110	44
	Perempuan	140	56
Tingkat Kelas Sekolah	Keas V	250	100
Eksposur Pembelajaran	Enam Sekolah Dasar	250	100
	IPAS-Kualitas Udara & Kehidupan Sehat (berbasis etnosains)	250	100

Penelitian ini mengikuti prosedur etika yang ketat. Semua langkah penelitian dilakukan dengan memperoleh izin resmi dari Dinas Pendidikan Kabupaten Sumenep dan persetujuan tertulis dari pihak sekolah yang terlibat. Seluruh data yang diperoleh dari responden dijamin kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk kepentingan akademik dalam konteks penelitian ini. Proses ini memastikan bahwa hak-hak responden terlindungi selama penelitian berlangsung.

3. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian ini dikembangkan berdasarkan dua teori utama: teori literasi sains yang diusulkan¹⁶ dan teori sikap peduli lingkungan¹⁷ Kedua teori ini kemudian dikontekstualisasikan dengan nilai-nilai etnosains yang berkembang dalam masyarakat Pulau Oksigen, guna memastikan relevansi dan kebermaknaan instrumen dalam konteks lokal.

Instrumen ini terdiri dari dua skala utama, yaitu literasi sains dan sikap peduli lingkungan, yang diukur menggunakan skala Likert 1-5. Setiap skala dibagi menjadi beberapa dimensi, yang dijabarkan pada Tabel 3 berikut.

¹⁶ National Research Council (NRC). (2012). A Framework for K-12 Science Education. National Academies Press

¹⁷ Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260

Tabel 3. Konstruk, Dimensi, dan Jumlah Butir Instrumen Literasi Sains dan Sikap Peduli Lingkungan

Konstruk	Dimensi	Indikator	Referensi
Literasi Sains (LS)	Pengetahuan ilmiah (<i>Scientific knowledge</i>)	LS1	OECD (2016); Bybee (1997)
	Kompetensi ilmiah (<i>Scientific process</i>)	LS2	OECD (2018); NRC (2012)
	Konteks sains dalam kehidupan (<i>Application of science in context</i>)	LS3	OECD (2016); Roberts (2007)
Sikap Peduli Lingkungan (ENV)	Kesadaran lingkungan (<i>Environmental awareness</i>)	ENV1	UNESCO (2020); Dunlap et al. (2000)
	Kepedulian dan tanggung jawab (<i>Care and responsibility</i>)	ENV2	Schultz (2001); Hungerford & Volk (1990)
	Perilaku berkelanjutan (<i>Sustainable behavior</i>)	ENV3	Stern (2000); Kollmuss & Agyeman (2002)

Sumber:¹⁸

Validasi isi instrumen dilakukan oleh lima ahli di bidang pendidikan sains dan etnosains, yang menggunakan *Content Validity Index* (CVI) untuk memastikan bahwa setiap indikator mewakili konstruk yang diukur secara akurat. Proses ini bertujuan untuk memverifikasi keterwakilan setiap dimensi terhadap konstruk literasi sains dan sikap peduli lingkungan. Setelah dinyatakan layak secara substantif, instrumen dilanjutkan dengan *pilot testing* yang melibatkan siswa dari sekolah yang tidak termasuk dalam sampel utama penelitian.

Uji coba ini bertujuan untuk menilai kejelasan redaksi, kesesuaian bahasa, serta konsistensi pola respons siswa terhadap setiap butir pertanyaan dalam instrumen. Hasil *pilot testing* menunjukkan bahwa seluruh butir pertanyaan dapat dipahami dengan baik oleh siswa. Meskipun demikian, beberapa item memerlukan revisi minor terutama terkait dengan redaksional agar lebih sesuai dengan tingkat bahasa peserta didik sekolah dasar. Revisi dilakukan berdasarkan masukan langsung dari siswa dan catatan pengamat selama proses uji coba berlangsung.

Dengan demikian, hasil validasi isi melalui CVI dan tahapan *pilot testing* memberikan dasar yang kuat untuk melanjutkan penggunaan instrumen dalam

¹⁸ OECD Skills Outlook 2023. (2023). OECD. <https://doi.org/10.1787/27452f29-en>

pengumpulan data utama. Kedua tahapan ini memastikan bahwa instrumen yang digunakan memiliki kualitas yang memadai sebelum diterapkan dalam analisis konstruk lanjutan menggunakan *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) dan *Structural Equation Modeling* (SEM).

4. Prosedur Penelitian

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui kuesioner yang disebarakan langsung kepada responden pada bulan Oktober 2025. Setiap pengisian kuesioner dilakukan dengan pengawasan langsung oleh peneliti dan guru kelas untuk memastikan pemahaman yang benar terhadap setiap item. Selain itu, dokumentasi kegiatan pembelajaran IPAS berbasis etnosains digunakan sebagai data pendukung untuk memverifikasi konteks keterlibatan siswa dalam pembelajaran.

5. Teknis Analisis Data

Analisis data dilakukan dalam dua tahap utama. Tahap pertama menggunakan IBM SPSS Statistics 27 untuk pengolahan data awal, seperti uji asumsi, reliabilitas, dan deskripsi data. Tahap selanjutnya menggunakan AMOS 22 untuk analisis *Structural Equation Modeling* (SEM) yang bertujuan menilai validitas, reliabilitas, serta kesesuaian model pengukuran dan hubungan antar variabel laten. Secara keseluruhan, prosedur analisis data dilakukan melalui tahapan berikut.

1. Uji Validitas Konstruk

Analisis dimulai dengan pengujian validitas konstruk menggunakan *Confirmatory Factor Analysis* (CFA). Validitas konvergen diuji menggunakan *factor loading*, *Average Variance Extracted* (AVE), dan *Composite Reliability* (CR). Indikator dianggap valid jika memenuhi kriteria: *Factor loading* $\geq 0,50$, AVE $\geq 0,50$, dan CR $\geq 0,70$. Validitas diskriminan diuji dengan membandingkan akar AVE terhadap korelasi antar konstruk, sebagaimana disarankan.¹⁹ Konstruk dinyatakan memiliki validitas diskriminan apabila $\sqrt{\text{AVE}}$ lebih besar daripada nilai korelasi antar konstruk.

¹⁹ Hair, J., H. G. T. M., R. C. M., & S. M. (2022). Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R

2. Uji Reliabilitas Internal

Tahap selanjutnya adalah pengujian reliabilitas internal untuk memastikan konsistensi indikator dalam mengukur konstraknya. Reliabilitas diukur menggunakan *Cronbach's Alpha* dan *Composite Reliability* (CR). Kedua nilai ini harus memenuhi batas minimal $\geq 0,70$ agar konstruk dinyatakan reliabel.

3. Uji Kesesuaian Model (*Goodness of Fit*)

Setelah model pengukuran tervalidasi, dilakukan pengujian kecocokan model secara keseluruhan. Beberapa indeks *Goodness of Fit* yang digunakan meliputi: $\chi^2/df \leq 3$, $CFI \geq 0,90$, $TLI \geq 0,90$, $RMSEA \leq 0,08$, dan $SRMR \leq 0,08$. Model dianggap layak jika memenuhi sebagian besar atau seluruh kriteria kecocokan tersebut.

a. Analisis Hubungan Antar Konstrak (*Structural Model*)

Setelah model pengukuran tervalidasi, analisis dilanjutkan pada model struktural untuk menilai pengaruh antar variabel laten. Output *Regression Weights* menunjukkan nilai koefisien jalur, *Critical Ratio* (CR), dan *p-value* yang digunakan untuk menentukan signifikansi pengaruh. Pengaruh dianggap signifikan jika: $CR \geq 1,96$ dan $p \leq 0,05$. *Standardized estimate* digunakan untuk menilai besaran pengaruh. Hasil ini menunjukkan sejauh mana literasi sains memengaruhi sikap peduli lingkungan.

b. Analisis Pengaruh Kontekstual Pembelajaran Berbasis Etnosains

Analisis tambahan dilakukan untuk menilai apakah konteks pembelajaran berbasis etnosains memperkuat hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan. Melalui *multi-group analysis* atau model moderasi, dibandingkan nilai koefisien antar kondisi. Jika pengaruh literasi sains lebih kuat pada kelompok yang menerima pembelajaran berbasis etnosains atau efek moderasi signifikan, maka etnosains berperan meningkatkan efektivitas model. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi kearifan lokal dapat memperkuat dampak literasi sains terhadap sikap ekologis siswa.

Secara keseluruhan, tahapan analisis ini dilakukan untuk memastikan bahwa model pengukuran memiliki validitas dan reliabilitas yang kuat, serta model struktural mampu menjelaskan hubungan antar variabel secara empiris.

Hasil validasi ini diharapkan menghasilkan struktur faktor yang stabil, yang dapat digunakan untuk mengukur literasi sains dan sikap peduli lingkungan dalam konteks pembelajaran IPAS berbasis kearifan lokal.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Structural Equation Modeling* (SEM) untuk memvalidasi konstruk literasi sains dan sikap peduli lingkungan serta menguji invariansi model pada dua kelompok pembelajaran: Etnosains dan Non-Etnosains. Analisis dilakukan melalui *Confirmatory Factor Analysis* (CFA), pengujian *Goodness of Fit*, dan *Multi-Group Analysis* untuk memastikan kesesuaian model, reliabilitas, serta stabilitas struktur faktor.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan temuan empiris berdasarkan serangkaian analisis yang dilakukan menggunakan IBM SPSS Statistics 27 dan AMOS 22. Hasil penelitian disajikan secara sistematis dimulai dengan evaluasi validitas dan reliabilitas konstruk, pengujian kelayakan model pengukuran, serta analisis hubungan struktural dan pengaruh kontekstual pembelajaran berbasis etnosains yang dijelaskan dalam sub-seksinya sebagai berikut.

1. Analisis Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif (*mean*, standar deviasi, *skewness*, *kurtosis*) digunakan untuk menilai kecenderungan umum data dan memastikan distribusi skor berada dalam batas kewajaran. Hasil analisis deskriptif ini dilakukan dengan menggunakan IBM SPSS Statistics 27 dan disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Statistik Deskriptif

Indikator	Mean	SD	Skewness	Kurtosis
LS1	3.68	0.937	-0.415	-0.152
LS2	3.80	0.877	-0.400	-0.138
LS3	3.86	0.924	-0.478	-0.301
ENV1	3.96	0.868	-0.480	-0.472
ENV2	4.06	0.814	-0.388	-0.720
ENV3	4.05	0.797	-0.429	-0.476

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai rata-rata (*mean*) untuk seluruh indikator berkisar antara 3,68 hingga 4,06, yang mengindikasikan bahwa literasi sains dan sikap peduli lingkungan siswa secara umum berada pada kategori tinggi. Khususnya, indikator ENV2

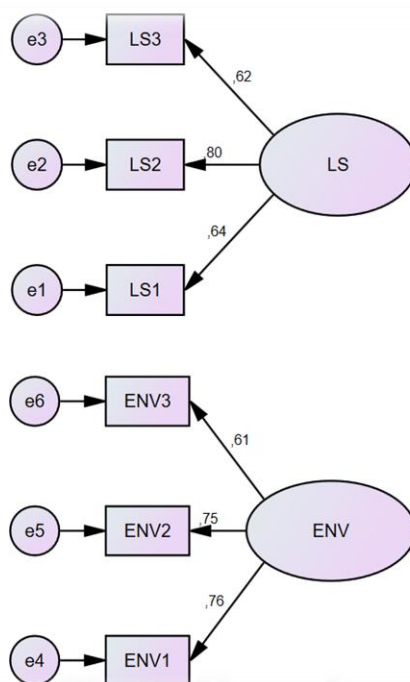
dan ENV3 menunjukkan rata-rata tertinggi (4,06 dan 4,05), yang menandakan bahwa dimensi sikap peduli lingkungan lebih kuat dibandingkan dengan literasi sains. Standar deviasi (SD) untuk indikator-indikator ini berkisar antara 0,79 hingga 0,94, yang menunjukkan variabilitas moderat pada sebaran data. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun mayoritas siswa memberikan skor tinggi, terdapat variasi yang cukup dalam jawaban siswa. Nilai *skewness* yang berkisar antara -0,38 hingga -0,48 menunjukkan bahwa distribusi data sedikit condong ke kiri (*negatively skewed*), yang berarti sebagian besar siswa memberikan skor tinggi, mencerminkan kecenderungan yang lebih kuat terhadap sikap positif terhadap lingkungan dan pemahaman sains. Nilai kurtosis yang berada antara -0,14 hingga -0,72 masih berada dalam batas normal ($|kurtosis| < 1$), yang menandakan bahwa distribusi data mendekati distribusi normal dan tidak menunjukkan adanya penyimpangan ekstrem atau distribusi berbentuk puncak yang berlebihan. Secara keseluruhan, karakteristik statistik ini menunjukkan bahwa data berada dalam kondisi yang memadai dan mendekati normal, sehingga data ini dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan *Structural Equation Modeling* (SEM).

2. Uji Validitas Konstruk

Confirmatory Factor Analysis (CFA) digunakan untuk menilai validitas konstruk melalui beberapa indikator utama, yaitu *standardized factor loading*, *Average Variance Extracted* (AVE), dan *Composite Reliability* (CR). Uji ini bertujuan memastikan bahwa setiap indikator benar-benar merepresentasikan konstruk yang dimaksud, dan model pengukuran yang diusulkan sesuai dengan data empiris yang diperoleh.

2.1 *Standardized Factor Loading*

Validitas indikator pertama diukur melalui *standardized factor loading*. Suatu indikator dianggap valid apabila memiliki nilai loading $\geq 0,50$. Gambar 2 menyajikan hasil uji *standardized factor loading* untuk konstruk literasi sains (LS) dan sikap peduli lingkungan (ENV). Hasil ini menunjukkan kekuatan hubungan antara setiap indikator dengan konstruk laten yang relevan.



Gambar 2. Hasil Uji *Standardized Factor Loading* Konstruksi Literasi Sains (LS) dan Sikap Peduli Lingkungan (ENV)

2.2 *Average Variance Extracted (AVE)* dan *Composite Reliability (CR)*

Setelah menilai *standardized factor loading*, validitas konstruk selanjutnya diuji menggunakan *Average Variance Extracted (AVE)* dan *Composite Reliability (CR)*. AVE digunakan untuk menilai proporsi variansi indikator yang dijelaskan oleh konstruk laten, yang dikenal sebagai validitas konvergen. Sementara itu, CR digunakan untuk menilai konsistensi internal indikator dalam merepresentasikan konstruk yang sama, yang mengukur reliabilitas konstruk.

Tabel 5 menyajikan hasil AVE dan CR untuk konstruk literasi sains (LS) dan sikap peduli lingkungan (ENV). Secara umum, nilai loading indikator berada pada kisaran 0,61 hingga 0,80, yang menunjukkan kontribusi indikator yang moderat hingga kuat terhadap konstruk laten yang diukur.

Tabel 5. Validitas Konvergen

Indikator	Loading (λ)	Cronbach's Alpha	CR	AVE	\sqrt{AVE}
LS		0.724	0.763	0.477	0.690
LS1	0.64				
LS2	0.80				
LS3	0.62				
ENV		0.745	0.816	0.503	0.709

ENV1	0.76
ENV2	0.75
ENV3	0.61

Sumber: Diadaptasi dari penelitian sebelumnya.²⁰

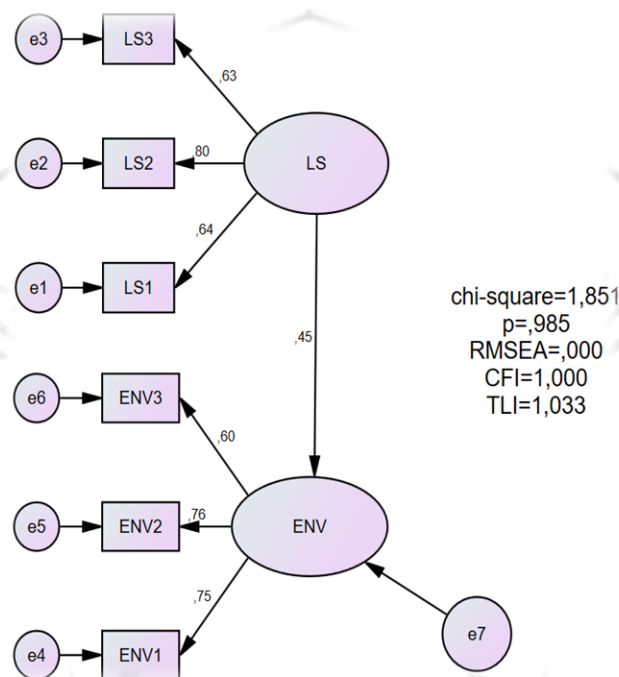
Berdasarkan Tabel 5, nilai loading indikator berkisar antara 0,61 hingga 0,80, yang menunjukkan kontribusi yang moderate hingga kuat dalam merefleksikan konstruk laten literasi sains (LS) dan sikap peduli lingkungan (ENV). Indikator LS2 ($\lambda = 0,80$) dan ENV1 ($\lambda = 0,76$) menunjukkan kontribusi terbesar dalam masing-masing konstruk, yang menandakan keduanya sebagai representasi yang paling kuat dari konstruk literasi sains dan sikap peduli lingkungan. Di sisi lain, LS1, LS3, dan ENV3 memiliki nilai loading sedikit lebih rendah (sekitar 0,61-0,64), namun masih dalam rentang yang diterima untuk penelitian pendidikan dan instrumen yang valid. Dari sisi reliabilitas, nilai Cronbach's Alpha untuk LS (0,724) dan ENV (0,745) serta CR untuk LS (0,763) dan ENV (0,816) berada di atas batas minimum 0,70, yang mengindikasikan konsistensi internal yang baik di kedua konstruk tersebut. Hal ini berarti bahwa indikator-indikator yang digunakan dalam pengukuran literasi sains dan sikap peduli lingkungan reliabel dan dapat diandalkan untuk penelitian lebih lanjut. Nilai AVE untuk konstruk ENV (0,503) melampaui ambang batas minimum 0,50, yang menunjukkan bahwa konstruk sikap peduli lingkungan memiliki validitas konvergen yang memadai. Sementara itu, AVE untuk LS (0,477) sedikit berada di bawah 0,50, namun masih dapat diterima karena semua loading indikator berada di atas 0,60 dan reliabilitas konstruk telah memenuhi kriteria yang ditetapkan. Nilai $\sqrt{\text{AVE}}$ untuk LS (0,690) dan ENV (0,709) menunjukkan kesiapan konstruk untuk diuji lebih lanjut pada tahap validitas diskriminan, dengan membandingkannya terhadap korelasi antar konstruk. Secara keseluruhan, **hasil ini menunjukkan bahwa konstruk literasi sains dan sikap peduli lingkungan memiliki reliabilitas dan validitas konvergen yang memadai untuk dianalisis lebih lanjut dalam model struktural.

3. Uji Kesesuaian Model (*Goodness of Fit*)

Setelah validitas konstruk diuji, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi kesesuaian model secara keseluruhan menggunakan indikator *Goodness of Fit* (GoF).

²⁰ OECD Skills Outlook 2023. (2023). OECD. <https://doi.org/10.1787/27452f29-en>

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model teoritis yang dikembangkan sesuai dengan data empiris yang diperoleh. Beberapa indeks GoF yang digunakan untuk evaluasi model meliputi χ^2/df , *Comparative Fit Index* (CFI), *Tucker-Lewis Index* (TLI), *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA), dan *Standardized Root Mean Square Residual* (SRMR).



Gambar 3. Hasil Uji Kesesuaian Model (*Goodness of Fit*)

Tabel 6. *Standardized Regression Weight*

Konstruk	Estimate
ENV ← LS	.449
LS1 ← LS	.637
LS2 ← LS	.799
LS3 ← LS	.626
ENV1 ← ENV	.746
ENV2 ← ENV	.762
ENV3 ← ENV	.604

Tabel ini menunjukkan bahwa literasi sains (LS) memiliki pengaruh positif terhadap sikap peduli lingkungan (ENV) dengan koefisien regresi terstandar sebesar 0.449. Artinya, setiap peningkatan satu standar deviasi pada literasi sains diikuti oleh peningkatan 0.449 standar deviasi pada sikap peduli lingkungan siswa. Hubungan ini menunjukkan kekuatan pengaruh yang moderat. Hal ini memperkuat argumen bahwa

pemahaman konsep-konsep ilmiah, terutama yang terkait dengan isu lingkungan, berkontribusi pada pembentukan sikap ekologis siswa. Pada sisi model pengukuran, loading indikator untuk LS1 hingga LS3 berkisar antara 0.626 hingga 0.799, dengan LS2 ($\lambda = 0.799$) sebagai indikator terkuat dalam merepresentasikan konstruk literasi sains. Demikian pula, indikator ENV1 hingga ENV3 memiliki loading antara 0.604 hingga 0.762, dengan ENV2 ($\lambda = 0.762$) dan ENV1 ($\lambda = 0.746$) sebagai indikator yang paling dominan dalam mengukur sikap peduli lingkungan. Semua indikator tersebut menunjukkan bahwa konstruk literasi sains dan sikap peduli lingkungan terwakili dengan baik oleh indikator-indikator yang digunakan, memperkuat validitas model pengukuran.

Tabel 7. Goodness of Fit

Indeks	Kriteria	Hasil	Keterangan
CMIN/DF	≤ 3.00	0.231	Fit
GFI	≥ 0.90	0.997	Fit
AGFI	≥ 0.90	0.993	Fit
CFI	≥ 0.90	1.000	Fit
TLI	≥ 0.90	1.033	Fit
RMSEA	≤ 0.08	0.000	Fit

Tabel 7 menunjukkan bahwa model pengukuran yang diuji memiliki tingkat kecocokan yang sangat baik. Nilai CMIN/DF sebesar 0.231 jauh di bawah ambang batas 3,00, yang menandakan bahwa model tidak mengalami misfit dan dapat diterima secara statistik. Nilai GFI (0.997) dan AGFI (0.993) melebihi batas minimum 0,90, yang menunjukkan bahwa sebagian besar varians dan kovarians data dapat dijelaskan oleh model ini. Indeks komparatif seperti CFI (1.000) dan TLI (1.033) juga menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari standar $\geq 0,90$, yang berarti bahwa model yang diuji memiliki kecocokan yang sangat baik bila dibandingkan dengan model null. Nilai TLI yang sedikit lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa model ini memiliki kualitas kecocokan yang sangat tinggi dan tidak menunjukkan masalah. Selain itu, nilai RMSEA yang 0.000 mengindikasikan *close fit*, karena nilai ini berada jauh di bawah batas 0,08, dan menunjukkan bahwa model memiliki error yang sangat rendah dalam pendekatannya terhadap data. Secara keseluruhan, kombinasi indeks *Goodness of Fit* ini menegaskan bahwa model pengukuran yang dikembangkan memenuhi kriteria kecocokan yang direkomendasikan dalam analisis SEM. Oleh karena itu, model ini

layak digunakan dalam analisis struktural dan pengujian hipotesis pada tahapan selanjutnya.

4. Hasil Analisis Hubungan Antar Konstruk (*Structural Model*)

Setelah validitas konstruk dan kesesuaian model diuji, analisis dilanjutkan pada model struktural (SEM) untuk mengevaluasi hubungan antar konstruk. Hasil analisis menunjukkan bahwa literasi sains memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap sikap peduli lingkungan, sesuai dengan hipotesis yang diajukan.

Tabel 8 menyajikan nilai koefisien jalur (*path coefficient*), *standar error*, dan signifikansi statistik dari hubungan antar konstruk. Hasil ini memperlihatkan sejauh mana literasi sains dapat memprediksi sikap peduli lingkungan siswa, serta mendukung penguatan hubungan melalui konteks pembelajaran berbasis etnosains Pulau Oksigen.

Tabel 8. Regression Weights

Konstruk	Estimate (β)	S.E.	C.R.	P
ENV \leftarrow LS	.487	.101	4.826	***
LS1 \leftarrow LS	1.000			***
LS2 \leftarrow LS	1.174	.156	7.527	***
LS3 \leftarrow LS	.970	.131	7.387	***
ENV1 \leftarrow ENV	1.000			***
ENV2 \leftarrow ENV	.956	.114	8.388	***
ENV3 \leftarrow ENV	.743	.096	7.767	***

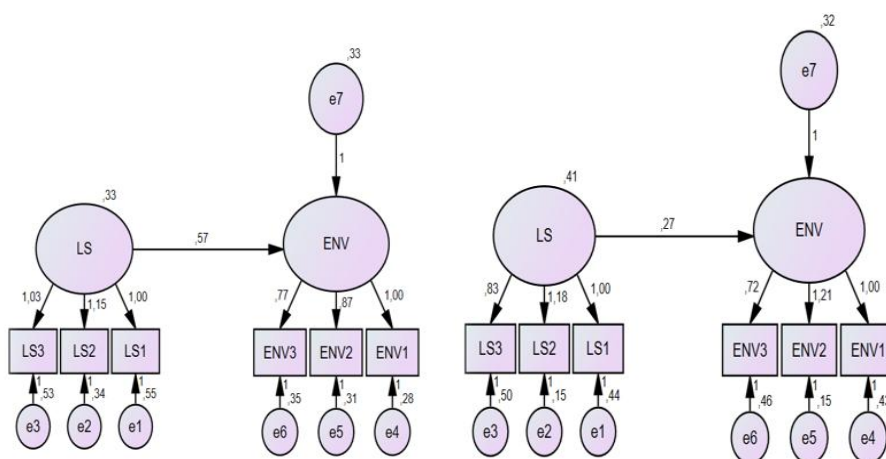
Note. *** $p < 0.01$

Tabel 8 menunjukkan bahwa literasi sains (LS) berpengaruh positif terhadap sikap peduli lingkungan (ENV) dengan koefisien jalur $\beta = 0,487$, S.E. = 0,101, C.R. = 4,826, dan $p < 0,01$. Nilai Critical Ratio (C.R.) yang jauh melampaui $\pm 1,96$ mengindikasikan bahwa hubungan ini signifikan secara statistik. Koefisien jalur ini menggambarkan pengaruh yang moderat, yang menunjukkan bahwa peningkatan literasi sains berhubungan langsung dengan peningkatan sikap peduli lingkungan pada siswa. Pada model pengukuran, indikator LS1 hingga LS3 memiliki loading antara 0,626 hingga 0,799, dengan LS2 ($\lambda = 0,799$) sebagai indikator terkuat. Sementara itu, indikator ENV1 hingga ENV3 memiliki loading antara 0,604 hingga 0,762, di mana ENV2 ($\lambda = 0,762$) dan ENV1 ($\lambda = 0,746$) merupakan indikator yang paling dominan untuk mengukur konstruk sikap peduli lingkungan. Seluruh indikator memiliki nilai loading di atas 0,60, yang menunjukkan bahwa indikator-indikator tersebut

merefleksikan konstruk laten dengan baik, memperkuat validitas model pengukuran.

5. Hasil Analisis Pengaruh Kontekstual Pembelajaran Berbasis Etnosains

Analisis tambahan dilakukan untuk menilai peran kontekstual pembelajaran berbasis etnosains dalam memperkuat hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan. Analisis ini menggunakan pendekatan moderasi atau perbandingan kelompok untuk menilai apakah konteks pembelajaran berbasis etnosains memengaruhi kekuatan hubungan antar variable.



Gambar 4. Hasil Analisis Pengaruh Pembelajaran Berbasis Etnosains dan Non-Etnosains

Tabel 9. Regression Weights: (Etnosains – Underconstrained)

Konstruk	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Etnosains					
ENV ← LS	.572	.139	4.098	***	b1_1
LS1 ← LS	1.000				
LS2 ← LS	1.154	.205	5.626	***	a1_1
LS3 ← LS	1.028	.186	5.527	***	a2_1
ENV1 ← ENV	1.000				
ENV2 ← ENV	.875	.124	7.026	***	a3_1
ENV3 ← ENV	.773	.115	6.734	***	a4_1
Non-Etnosains					
ENV ← LS	.266	.128	2.077	.038	b1_2
LS1 ← LS	1.000				
LS2 ← LS	1.183	.230	5.132	***	a1_2
LS3 ← LS	.830	.166	4.993	***	a2_2
ENV1 ← ENV	1.000				

ENV2 ← ENV	1.214	.276	4.396	***	a3_2
ENV3 ← ENV	.720	.167	4.315	***	a4_2

Note. *** $p < 0.01$

Tabel 9 menunjukkan bahwa pada kelompok etnosains, literasi sains berpengaruh positif dan signifikan terhadap sikap peduli lingkungan dengan koefisien jalur $\beta = 0.572$ (S.E. = 0.139, C.R. = 4.098, $p < 0.01$). Nilai ini menunjukkan pengaruh yang relatif kuat, sehingga pembelajaran berbasis etnosains memperkuat hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan. Indikator LS2 dan LS3 memiliki loading yang tinggi, sementara ENV2 dan ENV3 juga menunjukkan kontribusi kuat terhadap konstruk sikap peduli lingkungan. Sebaliknya, pada kelompok non-etnosains, koefisien jalur $\beta = 0.266$ (C.R. = 2.077, $p = 0.038$) menunjukkan pengaruh yang lebih lemah meskipun tetap signifikan pada level $p < 0.05$. Beberapa indikator, seperti ENV3 dan LS3, menunjukkan nilai loading yang lebih rendah dibandingkan pada kelompok etnosains, mengindikasikan bahwa tanpa integrasi konteks budaya lokal, kualitas hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan menjadi lebih lemah. Secara keseluruhan, perbedaan koefisien antara kelompok etnosains (0.572) dan non-etnosains (0.266) memberikan bukti empiris bahwa pembelajaran IPAS berbasis etnosains memperkuat hubungan antara penguasaan konsep ilmiah dan sikap peduli lingkungan. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi konteks lokal Pulau Oksigen meningkatkan efektivitas pembelajaran dalam membangun kesadaran ekologis siswa.

Tabel 10. Standardized Regression Weights

Konstruk	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Etnosains					
ENV ← LS	.498				
LS1 ← LS	.614				
LS2 ← LS	.751				
LS3 ← LS	.634				
ENV1 ← ENV	.779				
ENV2 ← ENV	.719				
ENV3 ← ENV	.653				
LS	.334	.094	3.556	***	vvv1_1
e7	.331	.076	4.381	***	vv1_1
e1	.552	.081	6.787	***	v1_1
e2	.345	.077	4.504	***	v2_1
e3	.526	.081	6.525	***	v3_1

e4	.284	.060	4.703	***	v4_1
e5	.315	.053	5.896	***	v5_1
e6	.354	.051	6.908	***	v6_1
Non-Etnosains					
ENV ← LS	.286				
LS1 ← LS	.693				
LS2 ← LS	.892				
LS3 ← LS	.599				
ENV1 ← ENV	.671				
ENV2 ← ENV	.878				
ENV3 ← ENV	.534				
LS	.409	.127	3.209	.001	vvv1_2
e7	.324	.110	2.941	.003	vv1_2
e1	.441	.094	4.714	***	v1_2
e2	.146	.094	1.550	.121	v2_2
e3	.503	.089	5.680	***	v3_2
e4	.430	.095	4.528	***	v4_2
e5	.155	.104	1.482	.138	v5_2
e6	.457	.078	5.861	***	v6_2

Note. *** $p < 0.01$

Tabel ini menunjukkan hasil standardized regression weights untuk dua kelompok yang berbeda: kelompok Etnosains dan kelompok Non-Etnosains. Secara struktural, koefisien jalur ENV ← LS pada kelompok Etnosains adalah 0,498, yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok Non-Etnosains (0,286). Hal ini menunjukkan bahwa literasi sains memiliki pengaruh yang lebih kuat terhadap sikap peduli lingkungan pada kelompok yang mengikuti pembelajaran berbasis etnosains. Dengan kata lain, integrasi konteks etnosains dalam pembelajaran membuat peningkatan literasi sains lebih efektif dalam mendorong kepedulian lingkungan siswa. Pada sisi model pengukuran, indikator LS1-LS3 dan ENV1-ENV3 menunjukkan loading yang kuat dan signifikan di kedua kelompok. Pada kelompok Etnosains, LS2 dan LS3 serta ENV1-ENV3 memiliki kontribusi yang konsisten dalam merefleksikan konstruk laten, sementara pada kelompok Non-Etnosains, beberapa indikator seperti LS2 dan ENV2 menunjukkan loading yang sangat tinggi. Meskipun demikian, tingginya loading indikator pada kelompok Non-Etnosains tidak diikuti dengan kekuatan hubungan struktural yang setara, karena koefisien jalur LS → ENV tetap lebih

lemah pada kelompok ini. Polanya menunjukkan bahwa model pengukuran pada kelompok Etnosains lebih stabil, sementara pada kelompok Non-Etnosains, terdapat sedikit ketidakteraturan pada residual error. Temuan ini mendukung kesimpulan bahwa pembelajaran berbasis etnosains tidak hanya meningkatkan kualitas pengukuran konstruk, tetapi juga memperkuat hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan.

Tabel 11. Hasil Analisis Perbandingan Jalur Struktural dan Loading Konstruk pada Kelompok Etnosains dan Non-Etnosains (SEM Multi-Kelompok)

Konstruk	Estimate (β) Etnosains	Estimate (β) Non-Etnosains	S.E.	C.R.	P	Interpretasi
LS→ENV	0.572	0.266	0.139/ 0.128	4.098/ 2.077	***/ 0.038	Kedua kelompok signifikan; pengaruh lebih kuat pada Etnosains
LS→LS2	0.751	0.892				Mirip; sedikit lebih stabil pada Non-Etnosains
ENV→ENV2	0.719	0.878				Hampir sama; sedikit lebih tinggi pada Non-Etnosains
ENV→ENV3	0.653	0.534				Lebih kuat pada Etnosains

Note. *** $p < 0.01$

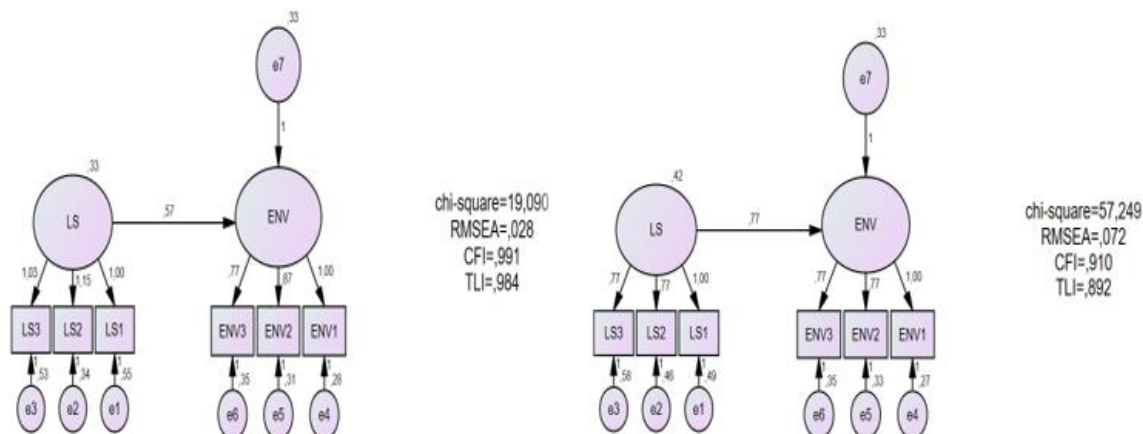
Tabel 11 menunjukkan bahwa pengaruh literasi sains terhadap sikap peduli lingkungan (LS → ENV) lebih kuat pada kelompok yang mengikuti pembelajaran berbasis etnosains ($\beta = 0,572$) dibandingkan dengan kelompok non-etnosains ($\beta = 0,266$), meskipun kedua kelompok menunjukkan signifikansi yang tinggi ($p < 0,01$). Koefisien jalur ini menunjukkan bahwa literasi sains memiliki pengaruh yang lebih signifikan dan kuat pada sikap peduli lingkungan ketika pembelajaran dihubungkan dengan konteks etnosains. Dari sisi indikator, LS2 dan ENV2 menunjukkan loading yang tinggi pada kedua kelompok, yang mengindikasikan bahwa indikator-indikator ini bekerja dengan baik dalam merefleksikan konstruk laten tanpa bergantung pada jenis pembelajaran yang diterapkan. Nilai loading ENV3 yang lebih tinggi pada kelompok

Etnosains ($\lambda = 0,653$) dibandingkan dengan kelompok Non-Etnosains ($\lambda = 0,534$) mengindikasikan bahwa aspek sikap ekologis yang lebih dekat dengan perilaku atau tindakan ekologis tercermin lebih kuat dalam konteks pembelajaran yang relevan dengan budaya lokal Pulau Oksigen. Secara keseluruhan, perbedaan utama antara kedua kelompok ini bukan terletak pada kualitas indikator yang digunakan, melainkan pada kekuatan hubungan struktural antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan. Pembelajaran berbasis etnosains terbukti berfungsi sebagai penguat konteks, yang membuat literasi sains lebih efektif dalam membentuk sikap peduli lingkungan pada siswa. Dengan demikian, etnosains berperan penting dalam memperkuat dampak pembelajaran sains terhadap pengembangan sikap ekologis dan kesadaran lingkungan siswa.

6. Uji Invariansi ($\Delta\chi^2$ Test)

Untuk mengevaluasi konsistensi struktur hubungan antar variabel pada kedua kelompok, yaitu kelompok Etnosains dan Non-Etnosains, dilakukan uji invariansi model menggunakan $\Delta\chi^2$ test. Uji ini membandingkan dua model, yaitu model unconstrained (parameter bebas antar kelompok) dan model constrained (parameter yang dibatasi sama antara kedua kelompok), guna menilai apakah koefisien jalur dan factor loading tetap stabil di kedua kelompok.

Perbedaan nilai chi-square ($\Delta\chi^2$) yang signifikan menunjukkan adanya variasi parameter antar kelompok, yang mengindikasikan bahwa hubungan antar konstruk tidak konsisten pada kedua kelompok. Sebaliknya, jika $\Delta\chi^2$ tidak signifikan, maka model dapat dianggap invarian dan hubungan antar konstruk konsisten meskipun ada perbedaan dalam konteks pembelajaran.



Gambar 5. Hasil Uji Invariansi (*Unconstrained* dan *Constrained*)

Tabel 12. Hasil Analisis Multi-Group

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF	$\Delta\chi^2$	ΔDF
Unconstrained	26	19.090	16	.264	1.193	19.090	16
Constrained	17	57.249	25	.000	2.290	57.249	25

Hasil uji invariansi model antar kelompok Etnosains dan Non-Etnosains menunjukkan bahwa model Unconstrained (di mana semua parameter dibiarkan bebas) memiliki kecocokan model yang baik dengan nilai CMIN = 19.090, df = 16, dan p = 0.264, yang mengindikasikan bahwa model dasar memadai dalam merepresentasikan data dari kedua kelompok. Namun, pada model Constrained, di mana parameter struktural dan pengukuran dipaksakan sama antara kedua kelompok, terdapat penurunan yang signifikan dalam kecocokan model, dengan nilai CMIN = 57.249, df = 25, dan p = 0.000, yang menunjukkan bahwa struktur hubungan antar konstruk pada kedua kelompok berbeda secara signifikan. Perbedaan $\Delta\chi^2$ sebesar 38.159 dengan $\Delta df = 9$ dan nilai p < 0.01 mengindikasikan bahwa model tidak invarian sepenuhnya. Dengan kata lain, pengaruh literasi sains terhadap sikap peduli lingkungan tidak bekerja dengan cara yang sama pada kedua kelompok, yang mengonfirmasi adanya perbedaan signifikan dalam struktur model yang melibatkan konteks pembelajaran etnosains. Secara empiris, hasil ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa pembelajaran berbasis etnosains memberikan pengaruh struktural yang lebih kuat dalam memperkuat hubungan antara literasi sains dan sikap peduli lingkungan siswa. Dengan demikian, konteks etnosains berfungsi sebagai moderator yang memperkuat hubungan antara penguasaan konsep ilmiah dan sikap ekologis siswa.

D. PEMBAHASAN

1. Temuan Utama

Hasil penelitian ini memberikan bukti empiris yang kuat bahwa model literasi sains dan sikap peduli lingkungan yang dikembangkan memiliki validitas dan reliabilitas yang baik dalam konteks pembelajaran IPAS berbasis etnosains Pulau Oksigen. Temuan ini konsisten dengan literatur sebelumnya²¹ yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis konteks lokal dapat memperkuat penguasaan konsep ilmiah sekaligus menginternalisasi nilai-nilai ekologis pada peserta didik.²²

Secara struktural, hasil *Structural Equation Modeling* (SEM) menunjukkan bahwa literasi sains berpengaruh positif dan signifikan terhadap sikap peduli lingkungan ($\beta = 0.487$; $p < 0.01$). Temuan ini mendukung argumen teoritis bahwa pemahaman konsep ilmiah berperan penting dalam membentuk kesadaran lingkungan dan perilaku pro-ekologis siswa²³ dan menekankan²⁴ bahwa pengetahuan ilmiah menyediakan dasar kognitif bagi siswa untuk menilai hubungan sebab-akibat dan implikasi ekologis dari aktivitas manusia yang kemudian diterjemahkan menjadi sikap peduli lingkungan. Hasil ini juga konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa kemampuan proses ilmiah berkontribusi terhadap kemampuan siswa melakukan evaluasi kritis terhadap isu lingkungan serta mendukung proses pengambilan keputusan yang berorientasi keberlanjutan.²⁵

Temuan dari analisis multi-kelompok mengungkapkan bahwa pengaruh literasi sains terhadap sikap peduli lingkungan lebih kuat pada kelompok yang mengikuti pembelajaran berbasis etnosains ($\beta = 0.572$) dibandingkan kelompok non-etnosains ($\beta = 0.266$). Perbedaan ini menunjukkan bahwa konteks etnosains bertindak sebagai *cultural amplifier* yang memperkuat hubungan antara penguasaan konsep ilmiah dan

²¹ Mukti, H., Arnyana, I. B. P., Suma, K., & Margunayasa, I. G. (2026). The effectiveness of problem-based learning (PBL) model integrated with ethnoscience in improving students' higher-order thinking skills and scientific literacy. *Multidisciplinary Science Journal*, 8(6).

²² Isnawati, I., Sriyati, S., Agustin, R. R., & Supriyadi, S. (2025). Synthesizing of Place-Based Education Research in Science Learning Research: What, Why, and How. *AIP Conference Proceedings*, 3206(1).

²³ Cosma, S. A., Bota, M., Fleşeriu, C., Morgovan, C., Văleanu, M., & Cosma, D. (2020). Measuring patients' perception and satisfaction with the Romanian healthcare system. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4).

²⁴ Öztürk, N., & Teksöz, G. (2016). The Impact of Affective Constraints on Shaping Environmental Literacy: Model Testing Using Mediator and Moderator Variables. *International Electronic Journal of Environmental Education*, 6(2), 54–75.

²⁵ Chan, J., & Erduran, S. (2025). Future-Oriented Science Learning and its Effects on Students' Emotions, Futures Literacy and Agency in the Anthropocene. *Research in Science Education*, 55(4)

sikap ekologis siswa. Hal ini sejalan dengan temuan-temuan penelitian mutakhir yang menyoroti bagaimana integrasi pengetahuan lokal dan praktik budaya mendorong pembelajaran yang lebih bermakna dan relevan secara ekologis.²⁶

Dalam konteks Pulau Oksigen, praktik budaya masyarakat seperti pengelolaan vegetasi alami, pola hidup sehat, dan komitmen menjaga kualitas udara merupakan sumber etnosains yang kuat. Integrasi praktik-praktik ini ke dalam pembelajaran memungkinkan siswa melihat keterkaitan langsung antara konsep ilmiah dan praktik ekologis dalam kehidupan sehari-hari, yang berdampak pada penguatan sikap peduli lingkungan.²⁷ Temuan ini didukung oleh literatur pendidikan berbasis tempat (*place-based education*), yang menunjukkan bahwa konteks lokal meningkatkan relevansi pembelajaran dan keterlibatan emosional siswa terhadap isu lingkungan.²⁸

Uji invariansi model menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara kedua kelompok ($\Delta\chi^2 = 38.159$; $p < 0.01$), sehingga model tidak invarian secara penuh. Hasil ini mengindikasikan bahwa hubungan antar konstruk tidak bekerja secara identik pada kedua kelompok, dan konteks pembelajaran etnosains benar-benar memodifikasi kekuatan hubungan literasi sains dengan sikap peduli lingkungan. Studi-studi sebelumnya juga mencatat bahwa model pendidikan yang memasukkan konteks budaya cenderung menghasilkan pola hubungan konstruk yang berbeda jika dibandingkan dengan pembelajaran konvensional.²⁹ Dengan demikian, integrasi etnosains dalam pembelajaran IPAS tidak hanya berpengaruh pada aspek konseptual, tetapi juga memengaruhi bagaimana konstruk psikologis dan sikap saling berinteraksi dalam diri peserta didik.

Jika dibandingkan dengan studi literasi sains di konteks lain, model yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan performa yang stabil dan konsisten sebagaimana tercermin dari tingginya nilai *goodness of fit* (CFI = 1.000; TLI = 1.033; RMSEA = 0.000). Nilai-nilai ini bahkan melampaui standar umum yang

²⁶ ebid

²⁷ Sonbait, L. Y., Manik, H., Warmetan, H., Wambrauw, Y. L. D., Sagrim, M., Djitmau, D. A., Wanggai, J., Rettob, B. B., & Murdjoko, A. (2021).

²⁸ Bascopé, M., & Reiss, K. (2021). Place-based stem education for sustainability: A path towards socioecological resilience. *Sustainability* (Switzerland)

²⁹ Fernández, R. R., Castanedo, Y. G., De las Heras Pérez, M. Á., & Rocha, R. (2023). Covid-19 Literacy as a Modulator of Emotions Linked to the Pandemic. *International Journal of Instruction*, 16(2),

direkomendasikan dalam literatur SEM.³⁰ Dengan demikian, hasil penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan model pengukuran literasi sains yang relevan pada konteks sekolah dasar, khususnya dalam konteks pembelajaran berbasis kearifan lokal yang masih jarang dikembangkan pada penelitian sebelumnya.³¹

Secara teoretis, penelitian ini memperkuat pentingnya pendekatan ekologi-budaya (*eco-cultural perspective*) dalam pendidikan sains. Pendekatan ini menekankan bahwa literasi sains tidak berkembang secara terpisah dari konteks sosial dan budaya, melainkan dipengaruhi oleh praktik, nilai, dan lingkungan tempat peserta didik hidup.³² Dalam konteks Pulau Oksigen, nilai-nilai ekologis seperti keseimbangan alam, gotong royong dalam menjaga lingkungan, dan praktik hidup sehat menjadi landasan kuat yang memperkuat keterkaitan antara pengetahuan ilmiah dan sikap ekologis siswa.

Dari sisi praktis, penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan kurikulum IPAS berbasis etnosains. Temuan bahwa konteks lokal memperkuat hubungan antar konstruk menunjukkan bahwa pembelajaran sains yang relevan secara budaya dapat meningkatkan efektivitas pendidikan lingkungan. Hal ini selaras dengan pandangan dari berbagai studi mutakhir sebelumnya bahwa pendidikan berkelanjutan paling efektif ketika dikaitkan dengan identitas budaya dan lingkungan lokal siswa.³³ Oleh karena itu, integrasi etnosains Pulau Oksigen dapat menjadi model inovatif untuk implementasi Profil Pelajar Pancasila, khususnya dalam dimensi gotong royong, bernalar kritis, dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menegaskan bahwa pembelajaran sains berbasis etnosains bukan hanya sarana untuk mengenalkan kearifan lokal, tetapi merupakan pendekatan pedagogis yang terbukti meningkatkan literasi sains sekaligus membentuk sikap peduli lingkungan. Integrasi pengetahuan ilmiah dan praktik budaya lokal memperkuat hubungan antar dimensi kognitif, afektif, dan perilaku, serta

³⁰ Hair, J., H. G. T. M., R. C. M., & S. M. (2022). Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R

³¹ Li, Z., Hao, T., & Zheng, R. (2022). The Relationship between Transportation Industry Efficiency, Transportation Structure, and Regional Sustainability Development in China: Based on DEA and PVAR Models. Sustainability (Switzerland)

³² Bravo, E., Costillo, E., Bravo, J. L., Mellado, V., & Conde, M. del C. (2022). Analysis of prospective early childhood education teachers' proposals of nature field trips: An educational experience to bring nature close during this stage. Science Education

³³ Dobsław, D., & Ortlinghaus, O. (2020). Biological waste air and waste gas treatment: Overview, challenges, operational efficiency, and current trends. In Sustainability (Switzerland)

memberikan model konseptual yang dapat diadopsi dalam program pendidikan lingkungan dan pendidikan berkelanjutan pada tingkat sekolah dasar.

2. Implikasi

Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis penting terhadap kajian literasi sains dan pendidikan lingkungan, terutama dalam konteks pembelajaran berbasis kearifan budaya lokal. Temuan bahwa pengaruh literasi sains terhadap sikap peduli lingkungan lebih kuat pada kelompok Etnosains memberikan bukti empiris bahwa konteks budaya lokal berfungsi sebagai penguat (*contextual amplifier*) yang memodifikasi kekuatan hubungan antar konstruk. Hasil ini memperluas kerangka teori *eco-cultural perspective* yang dikemukakan, ³⁴ yang menegaskan bahwa perkembangan literasi sains sangat dipengaruhi oleh nilai, praktik, dan pengalaman budaya yang dimiliki siswa. Selain itu, temuan tentang ketidakberlakuan invariansi model menunjukkan bahwa struktur konstruk literasi sains dan sikap ekologis tidak bersifat universal, melainkan kontekstual. Oleh karena itu, teori literasi sains perlu mempertimbangkan variabel budaya sebagai komponen integral dalam pengembangan model konseptualnya.

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan landasan empiris bagi penerapan pembelajaran IPAS berbasis etnosains di sekolah dasar. Penguatan hubungan LS → ENV pada kelompok etnosains menunjukkan bahwa integrasi kearifan lokal ke dalam pembelajaran dapat meningkatkan relevansi materi, keterlibatan emosional, serta kesadaran ekologis siswa. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa pemanfaatan pengetahuan lokal dalam pembelajaran sains tidak hanya memperkaya pengalaman belajar, tetapi juga memperkuat literasi sains dan mendorong sikap ekologis yang lebih positif.³⁵ Pendekatan ini memungkinkan guru mengembangkan skenario pembelajaran yang kontekstual, mengintegrasikan praktik budaya seperti pengelolaan vegetasi alami atau tradisi menjaga kualitas udara sebagai media pembelajaran yang bermakna bagi siswa.³⁶ Pembelajaran seperti ini tidak hanya meningkatkan pemahaman ilmiah siswa tetapi juga mendorong aspek afektif dan

³⁴ Acosta Castellanos, P. M., Queiruga-Dios, A., & Álvarez, L. G. (2021). Inclusion of education for sustainable development in environmental engineering. A systematic review. *Sustainability* (Switzerland)

³⁵ Uslan, Abdullah, N., Imami, M. K. W., & Aiman, U. (2024). THE EFFECTIVENESS OF THE LOCAL KNOWLEDGE-BASED MODULE (LKBM) TO IMPROVE STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY AND THINKING SKILLS

³⁶ Lestari, W. Y., Surtikanti, H. K., Rahman, T., & Riandi, R. (2025). Integrating local potential in science learning: A contextual approach to the independent curriculum in Ciamis, West Java.

perilaku siswa agar lebih responsif terhadap isu lingkungan.

Hasil penelitian ini juga memiliki implikasi penting bagi pemangku kebijakan pendidikan. Model pembelajaran berbasis etnosains dapat direkomendasikan untuk diintegrasikan ke dalam Kurikulum Merdeka, terutama dalam upaya penguatan karakter dan literasi lingkungan. Penemuan ini mendukung kebijakan pendidikan berkelanjutan yang menekankan relevansi budaya lokal sebagai fondasi pembelajaran lingkungan yang efektif.³⁷

Selain itu, pendekatan ini dapat membantu pemerintah daerah dalam melestarikan budaya lokal Pulau Oksigen melalui integrasi nilai-nilai hidup sehat, harmoni ekologis, dan praktik berkelanjutan ke dalam program pendidikan dasar. Hal ini berpotensi memperkuat implementasi Profil Pelajar Pancasila, khususnya pada dimensi gotong royong, bernalar kritis, dan keberlanjutan lingkungan.

3. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, konteks penelitian yang berfokus pada enam sekolah dasar di Pulau Oksigen dengan karakter budaya yang relatif homogen membatasi generalisasi temuan ke wilayah lain yang memiliki kondisi sosial dan budaya yang berbeda. Oleh karena itu, pengujian model pada konteks budaya yang lebih beragam diperlukan untuk memastikan stabilitas dan konsistensi model di berbagai konteks.

Selain itu, pengukuran literasi sains dan sikap peduli lingkungan dalam penelitian ini menggunakan instrumen self-report, yang berpotensi mengandung bias persepsi. Meskipun instrumen telah memenuhi standar validitas dan reliabilitas, penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan asesmen berbasis kinerja atau observasi perilaku untuk memperoleh gambaran yang lebih objektif mengenai sikap ekologis siswa.

Keterbatasan lain terletak pada desain penelitian yang bersifat cross-sectional, yang tidak memungkinkan peneliti untuk menilai perubahan literasi sains atau sikap peduli lingkungan secara longitudinal.³⁸ Mengingat pendekatan etnosains berpotensi

³⁷ Alkassam, A., Draou, A., Alamri, A., & Alharbi, H. (2022). Design Analysis of an Optimal Microgrid System for the Integration of Renewable Energy Sources at a University Campus. *Sustainability* (Switzerland)

³⁸ Kaya, V. H., & Elster, D. (2019). A critical consideration of environmental literacy: Concepts, contexts, and competencies. *Sustainability* (Switzerland),

memberikan dampak berkala, penelitian lanjutan dengan desain longitudinal atau kuasi-eksperimental akan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang perkembangan literasi sains dan sikap ekologis siswa seiring waktu.

Selain itu, penelitian ini belum mempertimbangkan variabel kontekstual lain, seperti strategi pembelajaran yang berbeda, perbedaan kualitas implementasi, dan dukungan lingkungan belajar, yang mungkin memengaruhi hubungan antar konstruk. Memasukkan variabel-variabel tersebut dalam penelitian berikutnya dapat memperkaya pemahaman mengenai mekanisme pembelajaran berbasis etnosains.

Terakhir, penelitian ini hanya mengkaji satu tema IPAS, yaitu “Kualitas Udara dan Kehidupan Sehat.” Pengujian model pada tema-tema IPAS lainnya diperlukan agar model literasi sains dan sikap peduli lingkungan dapat diterapkan secara lebih luas dan komprehensif.

E. KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa pengembangan model literasi sains dan sikap peduli lingkungan dalam pembelajaran IPAS berbasis etnosains Pulau Oksigen memberikan kontribusi teoretis dan empiris yang signifikan bagi pendidikan sains di sekolah dasar. Model yang diuji menunjukkan validitas dan reliabilitas yang kuat, serta kecocokan model yang sangat baik, menjadikannya kerangka yang andal untuk mengukur hubungan antara pengetahuan ilmiah dan sikap ekologis siswa.

Analisis *Structural Equation Modeling* (SEM) mengungkapkan bahwa literasi sains berperan signifikan dalam meningkatkan sikap peduli lingkungan, yang memperkuat pandangan bahwa kemampuan memahami konsep ilmiah merupakan landasan penting bagi terbentuknya perilaku pro-lingkungan. Temuan ini semakin dikuatkan dengan analisis multi-kelompok, yang menunjukkan bahwa pengaruh literasi sains terhadap sikap peduli lingkungan lebih besar pada kelompok siswa yang mengikuti pembelajaran berbasis etnosains, dibandingkan dengan kelompok non-etnosains.

Perbedaan struktural yang teridentifikasi melalui uji invariansi mengindikasikan bahwa konteks budaya lokal tidak hanya memperkaya pengalaman belajar, tetapi juga memodifikasi interaksi psikologis antar konstruk yang diukur. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi etnosains melalui nilai, praktik, dan fenomena

budaya Pulau Oksigen dapat memperkuat hubungan antara aspek kognitif (literasi sains) dan afektif (sikap peduli lingkungan).

Dengan demikian, pembelajaran IPAS berbasis etnosains dapat diadopsi sebagai pendekatan pedagogis yang relevan untuk meningkatkan kebermaknaan pembelajaran, mengembangkan karakter ekologis siswa, dan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka serta Profil Pelajar Pancasila. Penelitian ini memberikan dasar konseptual dan empiris bagi pengembangan kurikulum dan pedagogi berbasis budaya lokal di sekolah dasar.

Namun, generalisasi hasil perlu mempertimbangkan keterbatasan cakupan wilayah dan penggunaan instrumen self-report. Oleh karena itu, riset lanjutan disarankan untuk memperluas konteks budaya, menerapkan asesmen berbasis kinerja, serta melakukan penelitian longitudinal untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pembentukan literasi sains dan sikap peduli lingkungan dari waktu ke waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Samad, N. S., Abdul-Rahim, A. S., Mohd Yusof, M. J., & Tanaka, K. (2020). Assessing the economic value of urban green spaces in Kuala Lumpur. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10367–10390. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07593-7>
- Acosta Castellanos, P. M., Queiruga-Dios, A., & Álvarez, L. G. (2021). Inclusion of education for sustainable development in environmental engineering. A systematic review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/su131810180>
- Aikenhead, G. S., & Ogawa, M. (2007). Indigenous knowledge and science revisited. *Cultural Studies of Science Education*, 2(3), 539–620. <https://doi.org/10.1007/s11422-007-9067-8>
- Alarcon, D. A. U., Talavera-Mendoza, F., & Paucar, F. H. R. (2025). Evaluation of the Serious Game ABCCI: Usability and Gamification in Teacher Training for Science Education and Environmental Sustainability. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3569258>
- Alkassem, A., Draou, A., Alamri, A., & Alharbi, H. (2022). Design Analysis of an Optimal Microgrid System for the Integration of Renewable Energy Sources at a University Campus. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14074175>
- Arisma, N., Septiani, R., Husna, A. R., Rifa'i, A., & Erika, F. (2024). Literature Review Penerapan Pembelajaran Sains Berbasis Lingkungan untuk Meningkatkan Sikap Peduli Lingkungan Siswa. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 13(1), 53. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v13i1.81474>

- Bascopé, M., & Reiss, K. (2021). Place-based stem education for sustainability: A path towards socioecological resilience. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(15). <https://doi.org/10.3390/su13158414>
- Bravo, E., Costillo, E., Bravo, J. L., Mellado, V., & Conde, M. del C. (2022). Analysis of prospective early childhood education teachers' proposals of nature field trips: An educational experience to bring nature close during this stage. *Science Education*, *106*(1), 172–198. <https://doi.org/10.1002/sce.21689>
- Chan, J., & Erduran, S. (2025). Future-Oriented Science Learning and its Effects on Students' Emotions, Futures Literacy and Agency in the Anthropocene. *Research in Science Education*, *55*(4), 899–919. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10213-1>
- Cosma, S. A., Bota, M., Fleşeriu, C., Morgovan, C., Văleanu, M., & Cosma, D. (2020). Measuring patients' perception and satisfaction with the Romanian healthcare system. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(4). <https://doi.org/10.3390/su12041612>
- Dewi, C. A., Erna, M., Martini, Haris, I., & Kundera, I. N. (2021). Effect of Contextual Collaborative Learning Based Ethnoscience to Increase Student's Scientific Literacy Ability. *Journal of Turkish Science Education*, *18*(3), 525–541. <https://doi.org/10.36681/tused.2021.88>
- Dobslaw, D., & Ortlinghaus, O. (2020). Biological waste air and waste gas treatment: Overview, challenges, operational efficiency, and current trends. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Number 20, pp. 1–27). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12208577>
- Fang, S.-C. (2018). The influence of parental education on the environmental education of preschoolers: A case study of self-designed picture book. *Journal of Baltic Science Education*, *17*(2), 187–199. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85045986099&partnerID=40&md5=201c2a08915a54eae84ec481f38ac8d5>
- Fernández, R. R., Castanedo, Y. G., De las Heras Pérez, M. Á., & Rocha, R. (2023). Covid-19 Literacy as a Modulator of Emotions Linked to the Pandemic. *International Journal of Instruction*, *16*(2), 329–346. <https://doi.org/10.29333/iji.2023.16219a>
- Fitria, D., & Handrianto, C. (2025). Integrating Blended Problem-Based Learning with Ethnoscience to Develop Twenty-First-Century Skills in Middle School Science Education. *International Journal of Pedagogy and Curriculum*, *32*(2), 165–188. <https://doi.org/10.18848/2327-7963/CGP/v32i02/165-188>
- Hair, J. , H. G. T. M. , R. C. M. , & S. M. (2022). *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R*.
- Isnawati, I., Sriyati, S., Agustin, R. R., & Supriyadi, S. (2025). Synthesizing of Place-Based Education Research in Science Learning Research: What, Why, and How. *AIP Conference Proceedings*, *3206*(1). <https://doi.org/10.1063/5.0263042>

- Jap, J. J., Soesilo, T. E. B., & Tumuyu, S. S. (2021). Assessing urban agriculture's development in Central Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 716(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/716/1/012125>
- Kaya, V. H., & Elster, D. (2019). A critical consideration of environmental literacy: Concepts, contexts, and competencies. *Sustainability (Switzerland)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/su1106158>.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Kumar, V., Choudhary, S. K., & Singh, R. (2024). Environmental socio-scientific issues as contexts in developing scientific literacy in science education: A systematic literature review. In *Social Sciences and Humanities Open* (Vol. 9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100765>
- Latif, A., Pahru, S., & Muzakkar, A. (2022). Studi Kritis Tentang Literasi Sains dan Problematikanya di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(6), 9878–9886. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i6.4023>
- Lestari, W. Y., Surtikanti, H. K., Rahman, T., & Riandi, R. (2025). Integrating local potential in science learning: A contextual approach to the independent curriculum in Ciamis, West Java. *Multidisciplinary Science Journal*, 8(3), 1–11. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2026169>
- Li, Z., Hao, T., & Zheng, R. (2022). The Relationship between Transportation Industry Efficiency, Transportation Structure, and Regional Sustainability Development in China: Based on DEA and PVAR Models. *Sustainability (Switzerland)*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/su141610267>
- Mukti, H., Arnyana, I. B. P., Suma, K., & Margunayasa, I. G. (2026). The effectiveness of problem-based learning (PBL) model integrated with ethnoscience in improving students' higher-order thinking skills and scientific literacy. *Multidisciplinary Science Journal*, 8(6). <https://doi.org/10.31893/multiscience.2026355>
- Mulyana, V., & Desnita, D. (2023). Empirical Validity and Reliability of the Scientific Literacy Assessment Instrument Based on the Tornado Physics Enrichment Book. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(5), 3961–3967. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i5.3290>
- National Research Council (NRC). (2012). *A Framework for K-12 Science Education*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- OECD Skills Outlook 2023. (2023). OECD. <https://doi.org/10.1787/27452f29-en>

Öztürk, N., & Teksöz, G. (2016). The Impact of Affective Constraints on Shaping Environmental Literacy: Model Testing Using Mediator and Moderator Variables. *International Electronic Journal of Environmental Education*, 6(2), 54–75.

PISA 2018 results. (2019/2020). OECD.

Sievers, E., Spierenburg, M., Jhagroe, S. S., & van Oudenhoven, A. P. E. (2024). Place-based knowledge transfer in a local-to-global and knowledge-to-action context: key steps and facilitative factors. *Ecology and Society*, 29(3). <https://doi.org/10.5751/ES-15024-290308>

Sihombing, R. A., Anwar, S., Liu, S.-Y., Muslim, M., Winarno, N., & Sihombing, P. J. (2025). Integrating Local Wisdom into Environmental Education: A Systematic Review of Ethnoscience Research in Indonesia. *Journal of Natural Science and Integration*, 8(1), 57. <https://doi.org/10.24014/jnsi.v8i1.35762>

Slikkerveer, L. J., & Gellaerts, S. L. (2024). The indigenous knowledge systems-based ethnoscience model of integrated eco-education (IEE): Multicultural prospects of environmental education. In *Fostering an Ecological Shift Through Effective Environmental Education* (pp. 108–137). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2577-3.ch008>

Sonbait, L. Y., Manik, H., Warmetan, H., Wambrauw, Y. L. D., Sagrim, M., Djitmau, D. A., Wanggai, J., Rettob, B. B., & Murdjoko, A. (2021). The natural resource management to support tourism: A traditional knowledge approach in pegunungan arfak nature reserve, west papua, indonesia. *Biodiversitas*, 22(10), 4466–4474. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221040>

Uslan, Abdullah, N., Imami, M. K. W., & Aiman, U. (2024). THE EFFECTIVENESS OF THE LOCAL KNOWLEDGE-BASED MODULE (LKBM) TO IMPROVE STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY AND THINKING SKILLS. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(1), 147–161. <https://doi.org/10.15294/jpii.v13i1.47561>