

GLOBAL PEDIA (2026) Vol. 1, No. 1, 34-42
GLOBAL PEDIA : Journal of Innovation Research
https://researchpedia.psg.ac.id/index.php/globalpedia
DOI: https://doi.org/xx.xxxxx/gp.xxxx.xxx

Transformasi Karakter Berbasis Kesadaran Keberlanjutan dalam Pendidikan: Sebuah Analisis Bibliometrik

Miftahul Jannah[1*], Eni Nuraeni[1]
[1,2]Universitas Pendidikan Indonesia
Corresponding Author's e-mail : miftahuljannah6@upi.edu

e-ISSN : xxxx-xxxx

Article Info

Article history:

Received: September 5, 2026
Revised: September 15, 2026
Approved: October 31, 2026

Keywords:

Kesadaran Berkelanjutan, Pendidikan, Analisis Bibliometrik, Pembangunan Berkelanjutan

ABSTRAK

***Abstrak** : Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peta tren dan arah perkembangan riset global terkait kesadaran berkelanjutan dalam konteks pendidikan pada rentang tahun 2005–2025 melalui pendekatan analisis bibliometrik. Data dikumpulkan dari basis data Scopus menggunakan kata kunci "sustainability awareness" AND "education". Dataset yang diperoleh dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk mengeksplorasi hubungan antarkonsep melalui analisis co-occurrence of keywords dengan batas minimum dua kemunculan. Hasil analisis menunjukkan bahwa riset mengenai kesadaran berkelanjutan mengalami peningkatan signifikan sejak tahun 2015, sejalan dengan implementasi Sustainable Development Goals (SDGs). Visualisasi jaringan mengungkapkan adanya keterkaitan kuat antara kata kunci sustainability awareness, education, sustainable development, climate change, environmental education, dan higher education. Berdasarkan hasil pemetaan, muncul tiga kluster utama riset, yaitu: (1) pendidikan berbasis keberlanjutan dan pengembangan kesadaran lingkungan, (2) model pembelajaran dan instrumen asesmen untuk menumbuhkan kesadaran berkelanjutan, serta (3) integrasi nilai-nilai keberlanjutan dalam pendidikan tinggi dan pendidikan guru. Peta kepadatan menunjukkan bahwa istilah sustainability dan awareness merupakan pusat kepadatan tertinggi, menandakan bahwa dimensi kognitif dan afektif dalam pendidikan berkelanjutan menjadi fokus utama penelitian global. Hasil ini mempertegas urgensi integrasi nilai karakter berkelanjutan dalam pembelajaran, khususnya pada bidang pendidikan biologi yang berpotensi menumbuhkan sikap reflektif, tanggung jawab ekologis, dan kesadaran terhadap kelestarian lingkungan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengembangan kebijakan dan inovasi pedagogis yang berorientasi pada transformasi karakter berbasis kesadaran keberlanjutan di dunia pendidikan.*

ABSTRACT

***Abstract** : This study aims to analyze trends and the trajectory of global research regarding sustainability awareness in the context of education from 2005 to 2025, employing a bibliometric analysis approach. Data were collected from the Scopus database using the keywords*

"sustainability awareness" and "education." The resulting dataset was analyzed using VOSviewer software to explore conceptual relationships through keyword co-occurrence analysis, with a minimum threshold of two occurrences. The analysis indicates a significant rise in research on sustainability awareness since 2015, coinciding with the implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs). Network visualization reveals strong interconnections among the keywords: sustainability awareness, education, sustainable development, climate change, environmental education, and higher education. Mapping results identify three primary research clusters: (1) sustainability-based education and the development of environmental awareness; (2) learning models and assessment instruments for fostering sustainability awareness; and (3) the integration of sustainability values into higher education and teacher education. Density mapping shows that the terms "sustainability" and "awareness" represent the highest density centers, signifying that cognitive and affective dimensions within sustainability education are central to global research. These results underscore the urgency of integrating sustainability-related character values into instruction—particularly in biology education, which holds the potential to cultivate reflective attitudes, ecological responsibility, and awareness of environmental preservation. These findings are expected to serve as a foundation for developing policies and pedagogical innovations aimed at character transformation rooted in sustainability awareness within the educational landscape.

Copyright © 2026, The Author(s).
This is an open access article under the CC–BY-SA license

How to cite: Transformasi Karakter Berbasis Kesadaran Keberlanjutan dalam Pendidikan: Sebuah Analisis Bibliometrik. (2026). *Global Pedia - Journal of Research Innovation* , *1*(1), 34-42. https://researchpedia.psg.ac.id/index.php/globalpedia/article/view/30

PENDAHULUAN

Perubahan iklim, krisis keanekaragaman hayati, dan degradasi lingkungan kini menjadi tantangan besar yang dihadapi seluruh dunia. Dampak perubahan iklim terus dirasakan di berbagai sektor kehidupan, mulai dari meningkatnya suhu global, perubahan pola curah hujan, hingga meningkatnya kejadian cuaca ekstrem (Arets et al., 2019). Selain itu, dampak dari perubahan iklim tersebut secara langsung dan tidak langsung memperburuk hilangnya habitat alami bagi banyak spesies (Muluneh, 2021; Wiens, 2016). Penelitian Segan et al., (2016) menunjukkan bahwa perubahan iklim telah memperparah hilangnya habitat di hampir seperlima wilayah ekoregion dunia, dan berdampak pada lebih dari separuh spesies hewan darat seperti amfibi, burung, mamalia, dan reptil.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa krisis lingkungan tidak hanya menjadi persoalan ekologis, tetapi juga menuntut perubahan pola pikir dan perilaku manusia terhadap alam. Dalam konteks ini, sangat penting untuk membangun kesadaran berkelanjutan yang merupakan pemahaman dan kepekaan individu terhadap keterkaitan antara aktivitas manusia, lingkungan, dan keberlangsungan kehidupan di masa depan (Malt & Majid, 2023; Morales-baños et al., 2023). Kesadaran dan pengetahuan lingkungan yang berkelanjutan sangat penting untuk mendorong perilaku pro-lingkungan dan mendukung upaya mitigasi serta adaptasi perubahan iklim. Tanpa kesadaran yang kuat dan berkelanjutan, upaya mitigasi (pengurangan emisi) dan adaptasi (penyesuaian terhadap dampak iklim) cenderung tidak konsisten dan kurang efektif (Hwang et al., 2021; Srisathan et al., 2024). Oleh karena itu, pendidikan memiliki peran penting dalam

menanamkan nilai, pengetahuan, dan keterampilan yang mendorong peserta didik untuk berkontribusi aktif dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan kehidupan di bumi (Tripathy et al., 2024). Hal ini sejalan dengan penelitian Mongar (2023) yaitu dengan pembelajaran *Environmental Science*, 70% peserta didik dapat meningkatkan rasa tanggung jawab siswa serta kemampuan bertindak dalam menjaga keberlanjutan ekosistem.

Pendidikan berperan strategis dalam membentuk kesadaran berkelanjutan karena bukan hanya memberikan pengetahuan faktual, tetapi juga menginternalisasi nilai-nilai dan keterampilan yang mendukung keberlanjutan hidup (Ahmad et al., 2023; Veckalne & Tambovceva, 2022). *Education for Sustainable Development* (ESD) menekankan pembelajaran transformatif yang mengintegrasikan aspek kognitif (pengetahuan), afektif (nilai dan sikap), serta psikomotor (keterampilan dan tindakan) untuk mendorong perubahan perilaku menuju gaya hidup berkelanjutan (Adeyemi et al., 2025; Braßler & Sprenger, 2021; Hanisch & Eirdosh, 2020). Penelitian Husban (2025) menegaskan bahwa integrasi SDG ke dalam kurikulum berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kesadaran dan pro lingkungan mahasiswa, seperti penghematan energi, pengelolaan sampah, dan partisipasi dalam kegiatan lingkungan. Sehingga pembelajaran yang berorientasi pada keberlanjutan bisa membantu peserta didik dalam memahami hubungan timbal balik antara manusia dan lingkungan (Spiegelaar, 2023).

Dalam hal ini, pembelajaran biologi sangat relevan untuk menanamkan nilai kepedulian terhadap alam dan keberlanjutan karena mempelajari sistem kehidupan secara holistik, mulai dari ekosistem, keanekaragaman hayati, hingga interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya (Akinwumi, 2023). Penelitian Zebua et al. (2025) menunjukkan bahwa integrasi isu lingkungan seperti deforestasi dan polusi plastik ke dalam pembelajaran biologi melalui pendekatan berbasis proyek dan kontekstual dapat meningkatkan kesadaran dan perilaku pro-lingkungan peserta didik.

Sehingga, integrasi pendidikan karakter dalam pembelajaran biologi menjadi langkah yang strategis untuk memperkuat kesadaran berkelanjutan. Nilai-nilai seperti kreativitas, kepemimpinan, dan tanggung jawab dapat dikembangkan melalui pembelajaran dengan pendekatan lingkungan melalui proyek berbasis lokal dan integrasi STEM (Luthfi et al., 2024). Studi Karpudewan et al. (2017) membuktikan bahwa pembelajaran berbasis pengalaman dapat memebentuk karakter peduli lingkungan. Dengan demikian, kesadaran berkelanjutan tidak hanya dipahami sebagai konsep kognitif, tetapi juga menjadi bagian dari karakter dan kebiasaan peserta didik dalam kehidupan sehari-hari.

Penerapan nilai-nilai keberlanjutan dalam pendidikan juga menjadi fokus utama dalam upaya mencapai *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan keempat tentang pendidikan berkualitas dan tujuan ketiga belas tentang aksi terhadap perubahan iklim (Inga & Pereira, 2021; Saini et al., 2022). Oleh karena itu, memahami tren riset tentang kesadaran berkelanjutan dalam pendidikan menjadi penting untuk melihat arah perkembangan penelitian, celah yang masih ada, serta potensi inovasi yang dapat dikembangkan di masa depan. Adapun rumusan masalah penelitian sebagai berikut: (1) Kata kunci apa saja yang paling sering muncul dan bagaimana pola klaster kata kunci tersebut? (3) Apa arah dan peluang penelitian masa depan terkait *sustainability awareness* yang relevan dengan pembelajaran biologi dan pendidikan karakter?

METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis bibliometrik untuk memetakan tren publikasi dan pola tematik terkait *sustainability awareness in education* antara tahun

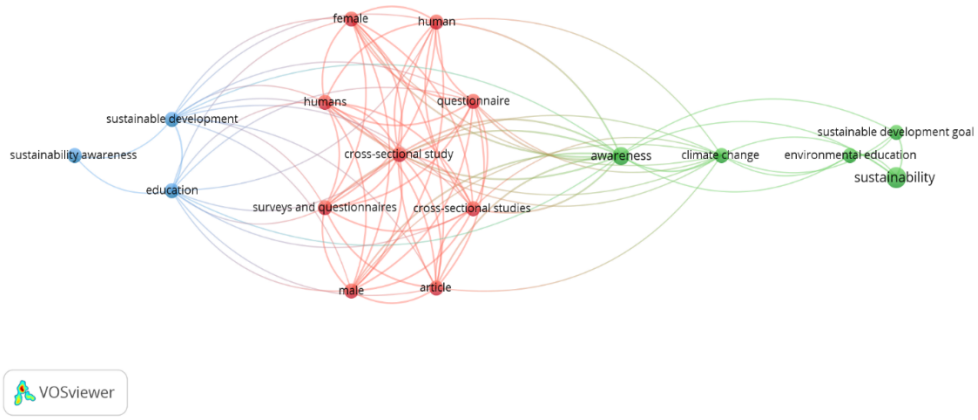
2005 hingga 2025. Data dikumpulkan dari basis data Scopus dengan menggunakan string pencarian "*sustainability awareness" AND "education*", kemudian dibatasi pada jenis dokumen artikel serta publikasi dalam rentang tahun 2005–2025. Selanjutnya, metadata artikel diunduh dan diekspor ke format RIS untuk dianalisis lebih lanjut.

Tahap berikutnya adalah pembersihan dan seleksi data, yaitu menghapus duplikasi dan menyelaraskan format nama penulis atau institusi, serta memastikan hanya publikasi yang lengkap metadata (penulis, tahun, dan kata kunci) yang dianalisis. Analisis utama dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk melihat visualisasi jaringkan kata kunci (*co-occurrence of keywords*), kolaborasi penulis atau negara (*co-authorship*), dan sitasi (*citation mapping*) sesuai dengan metodologi bibliometrik (Donthu et al., 2021).

Dalam penelitian ini, fokus analisis terletak pada pada *co-occurrence of keywords*, dengan batas minimum kemunculan sebuah kata kunci sebanyak 2 kali agar klaster-tematik terbentuk secara signifikan. Visualisasi yang dihasilkan meliputi peta jaringan (*network visualization*) dan peta kepadatan (*density visualization*). Interpretasi hasil kemudian dilakukan secara deskriptif untuk mengidentifikasi klaster topik dan potensi gap riset yang relevan untuk bidang pendidikan biologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik menggunakan perangkat lunak VOSviewer, diperoleh pemetaan kata kunci yang menunjukkan hubungan tematik antar topik penelitian terkait sustainability awareness dan education. Hasil pemetaan jaringan kata kunci *network visualization* pada Gambar 1 memperlihatkan struktur keterkaitan antar topik riset dalam bidang *sustainability awareness* dan *education* selama dua dekade terakhir. Dari hasil analisis, terlihat bahwa jaringan terbagi menjadi tiga kluster utama yang saling terhubung.



Gambar 1. *Network Visualization of Keyword Co-occurrence related to "Sustainability Awareness" and "Education"* (2005–2025)

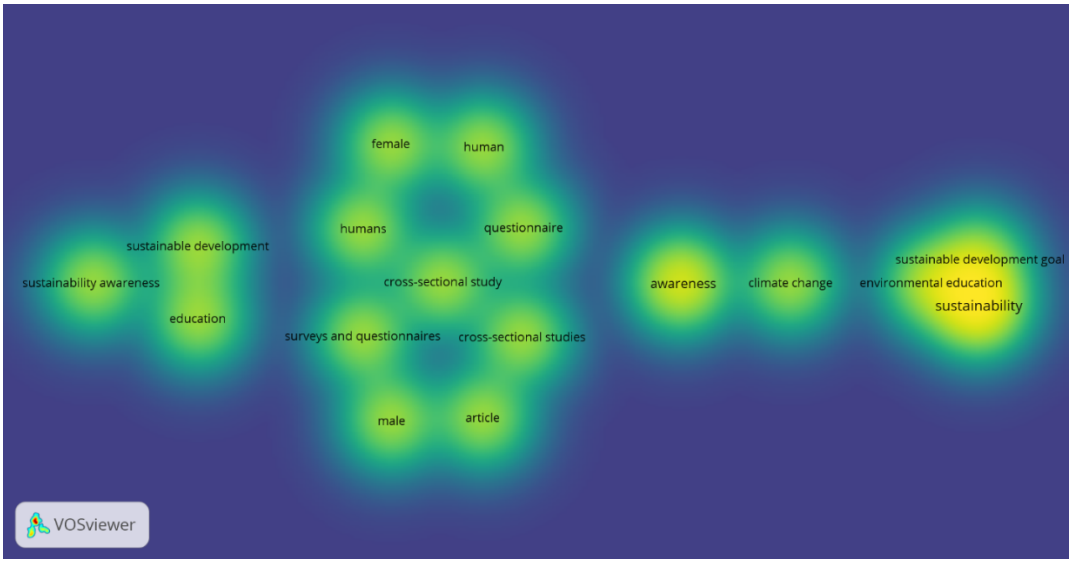
Kluster pertama pada warna biru menampilkan keterkaitan antara kata sustainability awareness, education, dan sustainable development. Kluster ini menggambarkan fokus riset yang menyoroti peran pendidikan dalam menumbuhkan kesadaran keberlanjutan dan mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs). Fokus utama pada kluster ini berada pada education for sustainable development (ESD), yang menekankan penguatan nilai dan kompetensi keberlanjutan melalui pembelajaran lintas disiplin. ESD menekankan pengembangan kompetensi yang mencakup aspek kognitif, afektif, dan perilaku agar peserta didik mampu merefleksikan dan mengubah perilaku demi keberlanjutan (Cebri et al., 2020).

Pada kluster kedua, warna merah menampilkan kata kunci seperti cross-sectional study, questionnaire, dan humans. Kluster ini menunjukkan bahwa mayoritas riset yang mengkaji kesadaran berkelanjutan masih menggunakan pendekatan kuantitatif, khususnya survei berbasis kuesioner untuk mengukur tingkat pengetahuan, sikap, dan perilaku keberlanjutan (Topal et al., 2021). Dominasi metode ini memperlihatkan bahwa penelitian masih berfokus pada pengukuran hasil belajar (learning outcomes), bukan pada proses pembentukan nilai dan transformasi perilaku jangka panjang.

Kluster ketiga, warna hijau menunjukkan keterhubungan antara kata kunci awareness, climate change, sustainability, sustainable development goals, environmental education. Kluster ini memperlihatkan bahwa penelitian juga banyak diarahkan pada aspek kesadaran lingkungan dan perubahan iklim yang menjadi isu global dan mendesak dalam konteks pembangunan berkelanjutan, sehingga pendidikan berperan dalam meningkatkan kesadaran terhadap krisis iklim dan ekosistem melalui integrasi tema lingkungan ke dalam pembelajaran sains.

Meskipun penelitian mengenai sustainability awareness menunjukkan perkembangan signifikan, pada Gambar 2 mengungkapkan beberapa kesenjangan penelitian yang perlu mendapat perhatian. Pertama, sebagian besar penelitian yang termasuk ke dalam kluster merah masih didominasi oleh metode survei kuantitatif, yaitu *cross-sectional study* dan *questionnaire* yang berfokus pada pengukuran tingkat pengetahuan dan sikap terhadap keberlanjutan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan metodologis yang lebih mendalam seperti mix methods untuk mengkaji lebih dalam terkait kesadaran berkelanjutan dalam proses pendidikan (Esakkimuthu & Banupriya, 2023).

Kedua, hasil visualisasi juga menunjukkan bahwa meskipun topik climate change berhubungan dengan *sustainable development goals*, namun belum terdapat penelitian yang secara jelas menekankan integrasi antara pendidikan keberlanjutan dengan mitigasi bencana. Padahal, mitigasi bencana merupakan bentuk konkret penerapan kesadaran berkelanjutan yang mengajarkan kemampuan adaptif, kesiapsiagaan, serta tanggung jawab terhadap lingkungan (Eraku et al., 2024; Pradipta et al., 2023). Selain itu, pendidikan mitigasi bencana juga dapat menjadi sarana pembelajaran untuk membentuk karakter yang tangguh (Rahmawati, 2023).



Gambar 2. *Density visualization displaying the concentration of research topics related to sustainability awareness.*

Analisis peta kepadatan pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa istilah dengan intensitas tertinggi adalah sustainability dan awareness. Warna kuning terang di area tersebut menandakan frekuensi kemunculan yang paling padat, sehingga kedua istilah ini menjadi pusat gravitasi riset tentang kesadaran berkelanjutan dalam pendidikan. Kepadatan ini memperlihatkan bahwa dimensi *awareness* dan *sustainability* menjadi inti dari seluruh klaster penelitian, baik yang berfokus pada pendidikan, lingkungan, maupun perubahan perilaku.

Dominasi kedua kata kunci ini menandakan bahwa riset global bergerak menuju pemahaman yang lebih holistik mengenai kesadaran berkelanjutan. Artinya, penelitian tidak hanya menyoroti kesadaran lingkungan semata, tetapi juga mencakup kesadaran sosial, etika, dan spiritual dalam konteks keberlanjutan hidup. Tren ini selaras dengan pendapat (Huang & Pagano, 2024) bahwa *Education for Sustainable Development* (ESD) menekankan integrasi antara nila-nilai keberlanjutan yang diinternalisasi melalui kurikulum, budaya sekolah, dan praktik pembelajaran.

Meski demikian, visualisasi juga memperlihatkan bahwa kepadatan penelitian masih terkonsentrasi pada konteks pendidikan lingkungan, sedangkan pendidikan karakter berkelanjutan belum muncul. Hal ini mengindikasikan bahwa penting untuk dikembangkan nilai-nilai karakter, yaitu dengan cara mengintegrasikan *sustainability* awareness dalam pembelajaran, sehingga peserta didik dapat membangun pemahaman ekologis sekaligus nilai-nilai tanggung jawab terhadap alam (Uzorka et al., 2024). Dengan demikian, penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan kesadaran berkelanjutan dan pendidikan karakter ekologis dalam konteks pembelajaran di berbagai jenjang pendidikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pemetaan kata kunci mengungkapkan tiga fokus utama riset, yakni pendidikan untuk keberlanjutan, metodologi pengukuran kesadaran, serta isu perubahan iklim dan pendidikan lingkungan. Temuan penting menunjukkan bahwa *sustainability* dan awareness merupakan kata kunci dengan intensitas tertinggi, menandakan keduanya sebagai pusat tema riset global. Meskipun demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam integrasi kesadaran berkelanjutan dengan pendidikan karakter dalam pembelajaran. Oleh karena itu, arah penelitian ke depan perlu difokuskan pada pengembangan pendekatan pedagogis yang menggabungkan nilai-nilai keberlanjutan dan karakter ekologis, dengan menggunakan metode campuran untuk memahami transformasi kesadaran peserta didik secara komprehensif. Selain itu, penguatan riset kolaboratif lintas disiplin diperlukan guna membangun model pembelajaran yang kontekstual, reflektif, dan transformatif.

DAFTAR PUSTAKA

Adeyemi, A. E., Ahn, J., Xu, Z., Mukp, H., & Matt, B. (2025). Promoting SDGs Through Education : A Theory of Planned Behavior Analysis of Japanese and Nigerian Students ' Sustainability Actions. *Sustainable Development*, *33*, 6901–6916. https://doi.org/10.1002/sd.3493

Ahmad, N., Toro-troconis, M., Ibahrine, M., Armour, R., Tait, V., Reedy, K., Malevicius, R., Dale, V., Tasler, N., & Inzolia, Y. (2023). CoDesignS Education for Sustainable Development : A Framework for Embedding Education for Sustainable Development in Curriculum Design. *Sustainability*, *15*(23), 16460.

https://doi.org/https://doi.org/ 10.3390/su152316460

Akinwumi, I. O. (2023). Biology Education : A Panacea to Global Environmental Challenges. *European Journal of Training and Development Studies*, *10*(2), 44–56. https://doi.org/10.37745/ejtds.2014/vol10n24456

Arets, E., Alkemade, R., Verwer, C., & Leemans, R. (2019). *Assessing the impacts of climate change on biodiversity : is below 2 ° C enough ?* 351–365.

Braßler, M., & Sprenger, S. (2021). Fostering Sustainability Knowledge , Attitudes , and Behaviours through a Tutor-Supported Interdisciplinary Course in Education for Sustainable Development. *Sustainability*, *13*(6), 3494. https://doi.org/10.3390/ su13063494 Academic

Cebri, G., Junyent, M., & Mul, I. (2020). Competencies in Education for Sustainable Development: Emerging Teaching and Research Developments. *Sustainability*, *12*(2), 579. https://doi.org/10.3390/su12020579

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Marc, W. (2021). How to conduct a bibliometric analysis : An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*(May), 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Eraku, S. S., Baruadi, M. K., & Salimi, Y. K. (2024). Local Wisdom-Based Disaster Mitigation Education and Environmental Conservation in Bintalahe Village of Bone Bolango Municipality. *Abdimas Umtas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, *7*(3), 1314–1322.

Esakkimuthu, K., & Banupriya, S. (2023). Awareness about Climate Change among Students : A Sustainable Future. *ComFin Research*, *11*(4), 1–6. https://doi.org/10.34293/ commerce.v11i4.6677

Hanisch, S., & Eirdosh, D. (2020). Educational potential of teaching evolution as an interdisciplinary science. *Evolution: Education and Outreach*, *13*(1). https://doi.org/10.1186/s12052-020-00138-4

Huang, R. X., & Pagano, A. (2024). Values-Based Education for Sustainable Development (VbESD): Introducing a Pedagogical Framework for Education for Sustainable Development (ESD) Using a Values-Based Education (VbE) Approach. *Sustainability*, *16*(9), 3562.

Husban, W. Al. (2025). The Impact of Integrating Sustainable Development Goals on Students ' Awareness and Pro-Environmental Behavior: A Case Study of Jordan. *Sustainability*, *17*(6), 2588.

Hwang, H., An, S., Lee, E., Han, S., & Lee, C. (2021). Cross-Societal Analysis of Climate Change Awareness and Its Relation to SDG 13 : A Knowledge Synthesis from Text Mining. *Sustainability*, *13*(5596), 1–21.

Inga, Ž., & Pereira, P. (2021). Higher Education for Sustainability: A Global Perspective. *Geography and Sustainability*, *2*(2), 99–106. https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.001

Karpudewan, M., Sabrina, N., & Ali, M. (2017). Experiential-based climate change education : fostering students ' knowledge and motivation towards the environment. *International Research in Geographical and Environmental Education*, *26*(3), 207–222. https://doi.org/10.1080/10382046.2017.1330037

Luthfi, Amir, N. A., Irfan, M., Sahabuddin, R., & Zahir, A. (2024). Internalization of Entrepreneurial Character in Biology Learning through Environmental Approach. *Journal of Biology Education*, *5*(2), 90–96. https://dx.doi.org/10.31332/kd.v5i2.10266

Malt, B. C., & Majid, A. (2023). Conceptual Foundations of Sustainability. *Topics in Cognitive Science 15*, *15*, 334–356. https://doi.org/10.1111/tops.12678

Mongar, K. (2023). The impacts of environmental science on Bhutanese students ' environmental sustainability competences. *Australian Journal of Environmental Education (2023), 39*(4), 437–451. https://doi.org/10.1017/aee.2023.2

Morales-baños, V., Borrego-balsalobre, F. J., & Arturo, D. (2023). *Levels of Sustainability Awareness in Spanish University Students of Nautical Activities as Future Managers of Sports and Active Tourism Programmes*.

Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security : a global perspective — a review article. *Agriculture & Food Security*, 1–25. https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5

Pradipta, I. G. I., Adiandari, A. M., Gede, P., Herlambang, D., & Kartika, M. (2023). Strengthening Community Disaster Education for Disaster Mitigation. *Journal of Communication in Scientific Inquiry (JCSI)*, *5*(2), 127–133.

Rahmawati, R. D. (2023). The impact of sets education on disaster education on student mitigation skills and resilience. *Nurture*, *17*(3), 240–252. https://doi.org/10.55951/nurture.v17i3.313

Saini, M., Sengupta, E., Singh, M., & Singh, H. (2022). Sustainable Development Goal for Quality Education (SDG 4): A study on SDG 4 to extract the pattern of association among the indicators of SDG 4 employing a genetic algorithm. *Education and Information Technologies*, *28*(2), 2031–2069. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11265-4

Segan, D. B., Murray, K. A., & Watson, J. E. M. (2016). A global assessment of current and future biodiversity vulnerability to habitat loss – climate change interactions. *Global Ecology and Conservation*, *5*, 12–21. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.11.002

Spiegelaar, N. (2023). Sustainability pedagogy: Understanding, exploring and internalizing nature ' s complexity and coherence. *Frontiers in Psychology*, *13*, 1–16. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.922275

Srisathan, W. A., Malai, K., Narathawaranan, N., Coochampoo, K., & Naruetharadhol, P. (2024). The impact of citizen science on environmental attitudes , environmental knowledge , environmental awareness to pro – environmental citizenship behaviour. *International Journal of Sustainable Engineering*, *17*(1), 360–378. https://doi.org/10.1080/19397038.2024.2354269

Topal, H. F., Hunt, D. V. L., & Rogers, C. D. F. (2021). Sustainability Understanding and Behaviors across Urban Areas : A Case Study on Istanbul City. *Sustainability*, *13*(14), 7711. https://doi.org/10.3390/su13147711

Tripathy, A. B., Swain, B. C., & Mishra, S. (2024). Environmental Sustainability For A Sustainable Future And Role Of Education (In Climate Change Perspectives). *Educational Administration: Theory and Practice*, *30*(5), 13660–13665.

https://doi.org/10.53555/kuey.v30i5.5952

Uzorka, A., Akiyode, O., & Muhammad, S. (2024). Discover Sustainability Strategies for engaging students in sustainability initiatives and fostering a sense of ownership and responsibility towards sustainable development. *Discover Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00505-x

Veckalne, R., & Tambovceva, T. (2022). The Role of Digital Transformation in Education in Promoting Sustainable Development. *Virtual Economics*, *5*(4), 65–86. https://doi.org/https://doi.org/10.34021/ve.2022.05.04(4)

Wiens, J. J. (2016). *Climate-Related Local Extinctions Are Already Widespread among Plant and Animal Species*. 1–18. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2001104

Zebua, N., Ziraluo, Y. P. B., & Zebua, E. N. K. (2025). Environmental conservation in biology learning : An effort to increase students ' awareness of environmental issues. *International Journal of Advances in Educational Research*, *1*(3), 145–156. https://doi.org/10.62941/ijaer.v1i3.114