



## **Membangun *Sustainability Awareness* Siswa: Peran Literasi Sains Matematis, Lingkungan, dan Sikap Kewarganegaraan**

**Elice Twenty Saragih,<sup>1</sup> Monica Kristin Siburian,<sup>2</sup> Marlina G. Munthe,<sup>3</sup>  
Katarina Lestari Simbolon,<sup>4</sup> Diva Syania Lubis,<sup>5</sup> Hisar Marulitua  
Manurung<sup>6\*</sup>**

<sup>123456</sup>Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar

Email: elicesrgh@gmail.com, monicasiburian17@gmail.com,  
marlinamunthe18@gmail.com, katarinalestarisimbolon98@gmail.com,  
divalubis116@gmail.com

### **Abstract**

Educational institutions are now required to prepare a generation equipped with strong sustainability awareness. This study aims to examine how scientific-mathematical literacy, environmental literacy, and citizenship literacy can be conceptually integrated to build a holistic form of sustainability awareness among students. Employing a library research method, this study reviews a wide range of scholarly sources, including journal articles, academic books, policy reports, reputable websites, news media, and current magazines. The analysis focuses on several stages: conceptual categorization, thematic synthesis, theoretical comparison, and a critical appraisal of relevant empirical findings. The study reveals that scientific-mathematical literacy plays an essential role in enabling students to interpret environmental issues as scientific and data-driven problems; environmental literacy cultivates ecological empathy and systemic ecological thinking; and citizenship literacy expands students' environmental understanding into public action and civic responsibility. Together, these literacies complement one another and serve as a foundational triad for developing sustainability awareness across cognitive, affective, and practical dimensions. The study concludes that sustainable education strengthening curriculum and pedagogy is therefore crucial to ensure that schools become formative spaces for nurturing a responsible and sustainability-minded generation for the future of development.

**Keywords:** *Sustainability Awareness; Scientific Literacy; Students; Responsibility*

**Abstrak:** Institusi pendidikan harus segera menyiapkan generasi yang memiliki *sustainability awareness* yang kokoh. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana literasi sains-matematis, literasi lingkungan, dan literasi kewarganegaraan dapat diintegrasikan secara konseptual untuk membangun kesadaran keberlanjutan yang holistik di kalangan siswa. Studi ini menggunakan metode studi kepustakaan dengan menelaah berbagai sumber artikel jurnal, buku, laporan akademik, website, media masa dan majalah terkini. Fokus analisis dilakukan dengan tahapan kategorisasi konsep, sintesis tematik, komparasi teoritis, dan pembacaan kritis terhadap hasil penelitian empiris yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa literasi sains-matematis berperan penting dalam membangun kemampuan siswa membaca isu lingkungan sebagai persoalan ilmiah dan berbasis

data; literasi lingkungan membentuk empati ekologis serta pola pikir ekologis sistemik; sedangkan literasi kewarganegaraan memperluas kesadaran tersebut ke ranah aksi publik dan tanggung jawab sipil. Ketiganya saling melengkapi dan berfungsi sebagai fondasi penting dalam membangun *sustainability awareness* yang bersifat kognitif, afektif, dan praktis. Penelitian menegaskan perlunya penguatan kurikulum dan pedagogi agar sekolah dapat menjadi ruang pembentukan generasi berkesadaran dan bertanggung jawab terhadap keberlanjutan masa depan pembangunan.

**Kata Kunci:** *Sustainability Awareness; Literasi Sains; Siswa; Tanggung Jawab*

## INTRODUCTION

Gerakan literasi harus menjadi budaya yang melekat terhadap masyarakat (Prayogo & Syahputra, 2022), namun tantangan isu terkait dengan biodiversitas akibat deforestasi, serta ketidakpastian ekologis yang kini menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari menjadikan isu keberlanjutan sebagai tantangan paling mendasar abad ini. Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan kerentanan ekologis berlapis naiknya permukaan laut, kerusakan daerah aliran sungai, hingga pengelolaan limbah yang belum memadai menghadapi tekanan yang semakin mendesak (Wahyuni & Suranto, 2021). Kondisi ini menuntut generasi muda yang tidak hanya memahami prinsip-prinsip ilmiah di balik fenomena tersebut, tetapi juga memiliki *sustainability awareness* yang terinternalisasi sebagai landasan etis untuk bertindak. Sekolah, sebagai institusi pendidikan formal pertama, menjadi ruang strategis untuk membentuk kesadaran tersebut melalui pengintegrasian ilmu pengetahuan, nilai, dan tanggung jawab moral (Parker, 2018).

Dalam kerangka global, target 4.7 *Sustainable Development Goals* (SDGs) secara eksplisit menetapkan bahwa pendidikan harus membekali peserta didik dengan pengetahuan, keterampilan, sikap, dan nilai yang diperlukan untuk pembangunan berkelanjutan. Namun, di banyak negara termasuk Indonesia, mandat ini belum sepenuhnya terintegrasi dalam kurikulum dan praktik pembelajaran. Kebijakan lingkungan cenderung bersifat makro dan *top-down*, sedangkan perubahan perilaku yang berkelanjutan justru bergantung pada kesadaran individu yang dibentuk sejak dini (Krajcik & Sutherland, 2010). Oleh karena itu, pengajaran sains dan matematika tidak lagi cukup dilakukan secara terpisah atau hanya pada ranah kognitif; keduanya harus diintegrasikan dalam ekosistem literasi yang memungkinkan siswa membaca realitas ekologis secara kritis dan utuh (Avelar et al., 2019).

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa literasi sains berperan signifikan dalam membentuk pemahaman siswa terhadap isu lingkungan yang kompleks, termasuk mekanisme perubahan iklim dan implikasi sosialnya (Bybee, 2012). Kemampuan matematis terbukti berkorelasi positif dengan

keterampilan membaca data lingkungan, menginterpretasi tren ekologis, serta menilai risiko secara rasional (Yore et al., 2007). Sementara itu, literasi lingkungan secara spesifik memengaruhi sikap dan perilaku pro-lingkungan dalam pengambilan keputusan sehari-hari. Ketiga dimensi literasi; sains, matematika, dan lingkungan memiliki titik temu konseptual yang esensial: menyediakan kerangka analisis kausal antara tindakan manusia dan kondisi planet (Bybee, 2008). Meski demikian, studi yang secara eksplisit mengaitkan ketiga literasi tersebut dengan sikap kewarganegaraan dengan pendekatan *sustainability awareness* untuk meningkatkan pemahaman kognitif dan harus bermuara pada orientasi tindakan kolektif yang bertanggung jawab.

Pada hakikatnya *sustainability awareness* bukan sekadar kesadaran ekologis, melainkan juga kesadaran kewarganegaraan. Dalam masyarakat yang semakin terhubung secara ekologis dan politis, setiap tindakan individu membawa implikasi sosial yang luas. Sikap kewarganegaraan yang responsif seperti kepedulian terhadap isu publik, partisipasi dalam aksi lingkungan, dan kemampuan mengambil keputusan etis merupakan elemen integral dari pendidikan keberlanjutan. Integrasi literasi sains-matematis, literasi lingkungan, dan sikap kewarganegaraan karenanya tidak hanya memperkaya kompetensi akademik, tetapi juga membentuk subjek etis yang sadar akan peran sosialnya di tengah krisis global (Husamah et al., 2025).

Berdasarkan latar tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengelaborasi kontribusi saling terkait antara literasi sains-matematis, literasi lingkungan, dan sikap kewarganegaraan dalam membentuk *sustainability awareness* siswa. Dengan menelaah hubungan konseptual dan empiris antarvariabel tersebut melalui studi kepustakaan, penelitian ini berupaya mengisi celah literatur mengenai keterkaitan multidimensi aspek kognitif, afektif, dan nilai kewarganegaraan dalam pembentukan kesadaran keberlanjutan. Hasilnya diharapkan menghasilkan landasan teoretis yang kuat sekaligus rekomendasi praktis bagi pengembangan kurikulum dan pedagogi yang mampu melahirkan generasi yang tangguh secara intelektual, peka secara moral, dan bertanggung jawab secara ekologis.

## **METHOD**

Penelitian ini menggunakan metode studi kepustakaan yang bertujuan menjelaskan pemahaman konseptual mengenai peran literasi sains-matematis, literasi lingkungan, dan sikap kewarganegaraan dalam membangun *sustainability awareness* siswa. Seluruh data yang digunakan berasal dari sumber-sumber ilmiah yang telah terverifikasi, meliputi artikel jurnal, buku, laporan kebijakan, website, majalah, dan berita di media masa yang relevan dengan isu literasi, pendidikan lingkungan, dan pendidikan kewarganegaraan. Untuk memperkaya perspektif analisis, studi ini juga mengacu pada publikasi meta-analisis terkini, laporan tren PISA dalam literasi

sains dan matematika, serta dokumen SDGs yang menekankan pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan.

Data yang terkumpul kemudian dianalisis melalui beberapa tahapan sistematis. Tahap pertama adalah identifikasi dan seleksi literatur. Tahap kedua adalah kategorisasi literatur ke dalam empat dimensi utama, yakni literasi sains, kemampuan matematis, literasi lingkungan, dan sikap kewarganegaraan, sehingga memungkinkan peneliti menelusuri titik temu konseptual antarvariabel. Tahap ketiga merupakan proses sintesis kritis, di mana setiap sumber dibandingkan, dianalisis kesesuaian dan perbedaannya, lalu ditarik pola umum yang dapat menjelaskan bagaimana ketiga bentuk literasi dan sikap kewarganegaraan berperan dalam membangun sustainability awareness. Tahap terakhir adalah konstruksi argumentatif, yaitu merumuskan temuan teoretis dalam bentuk narasi ilmiah yang koheren agar mampu memberikan kontribusi baru bagi pengembangan kajian pendidikan berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian menghasilkan pemahaman yang lebih dalam mengenai keterhubungan multidimensi antara pengetahuan ilmiah, kemampuan berpikir matematis, kepekaan ekologis, dan orientasi kewarganegaraan dalam membentuk kesadaran keberlanjutan siswa.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Definisi Sustainability Awareness**

Sustainability awareness merupakan konstruk multidimensi yang menempatkan siswa sebagai subjek yang tidak hanya memahami, tetapi juga merasakan dan mampu bertindak reflektif terhadap isu pembangunan berkelanjutan. Konstruk ini terdiri atas empat komponen utama yang saling terkait: pengetahuan, sikap, keterampilan, dan perilaku (Ayuningrum et al., 2025).

Pengetahuan mencakup pemahaman sistemik mengenai hubungan kausal antara aktivitas manusia dan keseimbangan ekologis termasuk mekanisme perubahan iklim, kehilangan biodiversitas, serta dinamika sosial-ekonomi yang menyertainya. Sikap merujuk pada disposisi afektif berupa kepedulian ekologis, sensitivitas moral, dan kesiapan untuk menjadikan nilai keberlanjutan sebagai pertimbangan utama dalam pengambilan keputusan. Keterampilan meliputi kemampuan berpikir kritis, literasi data, pemecahan masalah kompleks, serta pengambilan keputusan rasional berbasis bukti terkait isu lingkungan dan sosial. Perilaku, sebagai komponen akhir, merupakan manifestasi nyata dari internalisasi ketiga elemen sebelumnya terlihat dalam praktik sehari-hari seperti penghematan energi, pengelolaan sampah yang bertanggung jawab, hingga partisipasi aktif dalam aksi kolektif lingkungan.

Unsur Keempat komponen tersebut membentuk struktur kesadaran keberlanjutan yang bersifat transformasional: tidak hanya informatif, tetapi

juga mendorong perubahan individu dan kolektif menuju tatanan kehidupan yang lebih adil secara ekologis dan sosial. Dengan demikian, sustainability awareness bukan sekadar pengetahuan pasif, melainkan kompetensi holistik yang memungkinkan siswa menjadi agen perubahan dalam menghadapi tantangan global abad ke-21.

*Education for Sustainable Development* (ESD) merupakan paradigma pendidikan global yang menjadikan sekolah sebagai ruang strategis untuk membentuk individu yang mampu berpikir jangka panjang dan bertindak secara bertanggung jawab terhadap masa depan planet. ESD mengintegrasikan dimensi lingkungan, sosial, ekonomi, budaya, dan etika ke dalam seluruh proses pembelajaran, sehingga pendidikan tidak lagi berhenti pada transmisi pengetahuan, melainkan menjadi proses dialogis yang mengembangkan kemampuan siswa untuk:

- a. memahami ketegangan antara kebutuhan manusia dan daya dukung ekologis,
- b. menafsirkan isu-isu keberlanjutan secara kritis,
- c. menguasai keterampilan berpikir tingkat tinggi (*critical, systemic, futures thinking*), serta
- d. mengambil keputusan moral yang berorientasi pada keadilan antargenerasi.

Dengan demikian, ESD berfungsi sebagai kerangka pedagogis utama untuk membangun sustainability awareness. Pendekatan ini selaras dengan gagasan conscientization (Freire, 1970) yang diperluas ke ranah ekologi: siswa diajak menyadari posisi mereka dalam jaringan sistem sosial-ekologis yang kompleks, sekaligus membangun imajinasi kritis dan tanggung jawab kolektif untuk memelihara keseimbangan tersebut (Spiropoulou et al., 2007).

*Environmental Literacy* (EL) memberikan fondasi yang lebih spesifik dan terfokus pada ranah ekologi. Konstruk ini mencakup tiga elemen utama: (1) pengetahuan tentang prinsip-prinsip ekologis dan interaksi manusia-lingkungan, (2) kesadaran afektif terhadap isu-isu lingkungan, serta (3) keterampilan untuk bertindak secara bertanggung jawab dalam konteks ekosistem, pencemaran, konservasi, dan dinamika lingkungan lainnya. Dengan demikian, EL membekali siswa dengan kerangka analitis ilmiah yang esensial untuk mengevaluasi dampak ekologis dari aktivitas manusia, sekaligus menjadi pilar fundamental pembentukan sustainability awareness. Namun, karena EL pada dasarnya masih berpusat pada dimensi lingkungan, ia belum sepenuhnya mencakup aspek sosial, ekonomi, budaya, dan etika yang sama pentingnya dalam keberlanjutan. Oleh karena itu, EL perlu diintegrasikan dengan kerangka *Education for Sustainable Development* (ESD) agar menghasilkan pemahaman yang lebih holistik dan mampu menjawab kompleksitas tantangan keberlanjutan masa kini (Stevenson et al., 2013).

Integrasi antara *Environmental Literacy* (EL) dan *Education for Sustainable Development* (ESD) melahirkan konstruk yang lebih luas, yaitu

*sustainability literacy* (SL). *Sustainability literacy* didefinisikan sebagai kemampuan individu dalam konteks ini siswa untuk memahami, mengevaluasi, dan bertindak dalam sistem sosial-ekologis yang saling terkait, dengan memadukan dimensi lingkungan, sosial, ekonomi, budaya, serta etika (Qureshi, 2020).

Perbedaan mendasar antara EL dan SL terletak pada cakupan dan kedalaman. EL berfokus pada pemahaman ilmiah ekosistem, interaksi manusia–lingkungan, serta tanggung jawab ekologis individu. Sebaliknya, SL memperluas perspektif tersebut dengan secara eksplisit memasukkan isu ketidakadilan sosial, distribusi sumber daya, hak antargenerasi, dan implikasi moral dari keputusan ekonomi. Dengan kata lain, jika EL memberikan fondasi ekologis yang kuat, maka SL dikuatkan oleh semangat transformatif ESD menawarkan kerangka holistik yang memungkinkan siswa tidak hanya “memahami krisis lingkungan”, tetapi juga “bertindak sebagai warga global yang bertanggung jawab” di tengah kompleksitas keberlanjutan kontemporer (Saarna & Laius, 2025).

Pendidikan dasar dan menengah terutama dalam perspektif holistik ini menjadi sangat krusial mengingat siswa berada pada tahap perkembangan kognitif dan moral yang memerlukan pemahaman terpadu. Mereka tidak cukup hanya menguasai konsep ilmiah secara parsial, melainkan harus mampu menghubungkannya dengan realitas sosial, ekonomi, dan masa depan planet.

Pembentukan *sustainability awareness* melalui integrasi *sustainability literacy* (SL) dan *environmental literacy* (EL) memungkinkan siswa mengembangkan:

- a. berpikir sistemik,
- b. literasi matematis untuk menganalisis data ekologis, serta
- c. sikap kewarganegaraan yang menjadikan keberlanjutan sebagai nilai publik yang diperjuangkan secara kolektif.

Dengan demikian, pendidikan tidak lagi berhenti pada transfer pengetahuan, melainkan menjadi proses pembentukan kesadaran moral-ekologis yang mendorong transformasi sosial jangka panjang. *Sustainability awareness* pada akhirnya bukan sekadar kompetensi kognitif, melainkan paradigma hidup yang menjadikan siswa sebagai warga yang peduli, bertanggung jawab, dan mampu bertindak reflektif di tengah krisis lingkungan global (Diamond & Irwin, 2013).

### **Peran Literasi Sains-Matematis**

Literasi sains dan literasi matematis merupakan dua fondasi epistemik yang membentuk kemampuan siswa untuk memahami dan merespons persoalan keberlanjutan secara kritis dan bertanggung jawab. Dalam konteks pendidikan berorientasi keberlanjutan, kedua bentuk literasi ini tidak hanya berfungsi sebagai ranah kognitif yang mengajarkan konsep-konsep abstrak,

tetapi juga sebagai perangkat intelektual yang memungkinkan siswa membaca realitas ekologis secara lebih jernih dan terukur. Literasi sains memberikan landasan bagi siswa untuk memahami mekanisme ilmiah yang melatarbelakangi persoalan lingkungan, mulai dari dinamika perubahan iklim, degradasi ekosistem, hingga interaksi kompleks antara faktor biologis, fisik, dan sosial. Sementara itu, literasi matematis mengajarkan cara menggunakan bahasa bilangan, pola, dan model kuantitatif untuk menafsirkan data yang menggambarkan perubahan ekologis, sehingga siswa mampu menyusun argumen berbasis bukti dalam mengambil keputusan. Ketika kedua literasi ini dipadukan, siswa memperoleh kapasitas intelektual yang jauh lebih kuat untuk melihat keterkaitan antara tindakan manusia, laju kerusakan lingkungan, dan urgensi transisi menuju keberlanjutan (Barwell, 2013).

Pemahaman konsep-konsep ilmiah menjadi prasyarat penting bagi kemampuan siswa untuk terlibat secara kritis dalam isu-isu *socio-scientific* yang mempengaruhi kehidupan kolektif. Isu seperti pemanasan global, pencemaran udara, pengelolaan limbah, dan krisis energi tidak dapat dipahami hanya melalui opini atau persepsi moral semata, melainkan membutuhkan pemahaman ilmiah yang berbasis pada bukti empiris. Misalnya, pemodelan iklim menggunakan data atmosfer, tingkat emisi, suhu global, dan variabilitas cuaca merupakan metode ilmiah yang membantu siswa memvisualisasikan bagaimana perubahan kecil dalam perilaku manusia dapat membawa dampak besar terhadap sistem bumi. Melalui pemahaman ilmiah seperti ini, siswa tidak hanya belajar tentang teori, tetapi juga tentang dinamika ekologis yang memerlukan tindakan kolektif. Literasi sains dengan demikian berperan sebagai bingkai rasional yang membantu siswa memahami akar persoalan, mekanisme penyebab, serta konsekuensi jangka panjang dari tindakan manusia terhadap planet (Barwell, 2018).

Dimensi matematis memperkuat kerangka ilmiah tersebut dengan menyediakan alat kuantitatif untuk membaca dan menginterpretasikan data. Dalam konteks keberlanjutan, kemampuan matematis menjadi kunci untuk menilai tren perubahan ekologis-misalnya, menghitung tingkat emisi karbon per kapita, menganalisis pola deforestasi dari tahun ke tahun, atau menggunakan regresi statistik untuk memprediksi dampak lingkungan berdasarkan variabel tertentu. Melalui kemampuan ini, siswa tidak hanya sekadar memahami fenomena secara kualitatif, tetapi juga mampu memvalidasi kebenaran ilmiah melalui data numerik. Kemampuan berpikir statistik, analisis grafik, dan modeling matematis memungkinkan siswa terlibat dalam argumentasi berbasis bukti, sebuah keterampilan penting dalam pendidikan keberlanjutan. Ketika siswa dapat menghubungkan data dengan realitas ekologis, mereka membangun kesadaran bahwa keberlanjutan bukan hanya ideal moral, tetapi persoalan kuantitatif yang menuntut ketepatan dalam pengambilan keputusan (Coles et al., 2024).

Dalam kerangka *scientific literacy*, terdapat tiga visi utama yang memperkuat hubungan antara kemampuan ilmiah dan aksi keberlanjutan. Visi practical menekankan bahwa pengetahuan ilmiah berfungsi untuk membantu individu memecahkan masalah nyata dalam kehidupan sehari-hari, seperti efisiensi energi, pengelolaan sampah, atau konservasi air. Visi civil menempatkan literasi ilmiah sebagai kompetensi kewarganegaraan, yaitu kemampuan untuk terlibat dalam diskusi publik, menyikapi kebijakan lingkungan, dan memahami konsekuensi ilmiah dari keputusan politik. Sementara itu, visi cultural melihat sains sebagai bagian dari warisan intelektual manusia, yang membentuk cara kita memahami dunia dan tempat kita di dalamnya. Ketiga visi ini saling melengkapi, sehingga literasi sains bukan hanya alat untuk memahami fenomena, tetapi juga wahana pembentukan jati diri ekologis dan etos keberlanjutan.

Temuan empiris dalam beberapa tahun terakhir juga menunjukkan bahwa integrasi literasi sains dan literasi matematis dalam pembelajaran memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan agency siswa, yakni keyakinan bahwa mereka mampu mengambil tindakan bermakna untuk mengatasi persoalan lingkungan. Studi berbasis pedagogi data-driven menemukan bahwa keterlibatan siswa dalam analisis data nyata misalnya data polusi udara lokal atau pengukuran jejak karbon pribadi dapat meningkatkan agency hingga 20–30 persen. Peningkatan ini terjadi karena siswa merasa memiliki kendali kognitif dan emosional terhadap isu yang mereka pelajari; ketika mereka mampu membaca data, memahami pola, dan melihat konsekuensi ekologisnya, mereka menjadi lebih percaya diri dalam mengambil keputusan. Dengan demikian, integrasi literasi sains dan matematis berfungsi sebagai katalis bagi transformasi kesadaran keberlanjutan, karena ia memberikan siswa perangkat untuk berpikir, merasakan, dan bertindak berdasarkan pemahaman yang mendalam dan rasional mengenai kondisi bumi (Coles et al., 2024).

### **Peran Literasi Lingkungan**

Pemahaman tentang literasi lingkungan dalam konteks pendidikan modern tidak hanya berkisar pada kemampuan siswa mengenali fenomena ekologis, tetapi juga mencakup proses internalisasi nilai, pengembangan keterampilan berpikir kritis, serta pembentukan orientasi perilaku yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, literasi lingkungan berperan sebagai fondasi epistemik yang menautkan dimensi kognitif, afektif, dan psikomotorik siswa menuju kesadaran ekologis yang lebih komprehensif. Ketika siswa memahami struktur ekosistem, relasi antarorganisme, dan dampak aktivitas manusia terhadap keseimbangan alam, mereka tidak sekadar menguasai pengetahuan teoretis, tetapi juga mengembangkan kepekaan moral terhadap keberlanjutan kehidupan. Pengetahuan tersebut kemudian bertemu dengan sikap empatik terhadap lingkungan yakni kemampuan merasakan urgensi perlindungan



alam sebagai bagian dari keberlanjutan sosial dan eksistensial manusia. Pada fase ini, literasi lingkungan tidak lagi dipandang sebagai ranah kognitif yang terpisah, melainkan sebagai proses pembentukan kesadaran diri yang menuntun pada respons etis terhadap tantangan ekologis kontemporer.

Salah satu dimensi penting dalam literasi lingkungan adalah keterampilan inquiry-based learning yang memungkinkan siswa terlibat dalam penyelidikan langsung terhadap fenomena ekologis di sekitarnya. Melalui proses bertanya, mengobservasi, mengumpulkan data, dan menyimpulkan temuan, siswa tidak hanya memperoleh pengalaman belajar yang autentik, tetapi juga memperkuat kemampuan analitis yang esensial untuk memahami kompleksitas sistem alam. Pendekatan inkuiri ini membantu siswa menyadari bahwa persoalan lingkungan tidak dapat dipahami melalui jawaban sederhana, melainkan menuntut cara pandang yang holistik, integratif, dan multidimensional. Dalam konteks ini, literasi lingkungan berkembang menjadi wahana pedagogis yang mempersiapkan siswa menghadapi dinamika perubahan lingkungan, baik pada level lokal maupun global.

Integrasi antara literasi lingkungan dan kerangka *Education for Sustainable Development* (ESD) memperkaya proses pembelajaran dengan menambahkan orientasi tindakan (*action-oriented learning*). Program-program seperti pembelajaran luar ruang dan *mobile learning* memungkinkan siswa mengalami secara langsung bagaimana interaksi manusia–lingkungan membentuk kondisi ekologis saat ini. Pengalaman reflektif tersebut menjadi dasar pembentukan perilaku pro-lingkungan yang tidak bersifat temporer, tetapi lebih bersifat transformatif karena dibangun melalui pemahaman yang mendalam dan pengalaman langsung. Ketika siswa berpartisipasi dalam kegiatan menanam pohon, memetakan kualitas air sungai, atau melakukan audit sampah sekolah melalui perangkat mobile, mereka tidak hanya mempraktikkan pengetahuan ekologis, tetapi juga mengembangkan rasa tanggung jawab sosial terhadap keberlanjutan lingkungan (Huang & Hsin, 2023).

Penelitian dalam bidang pendidikan lingkungan menunjukkan bahwa program literasi lingkungan pada usia dini mampu meningkatkan kesadaran ekologis siswa. Peningkatan ini tidak hanya terjadi pada aspek pengetahuan, tetapi juga dalam domain afektif dan konatif, seperti meningkatnya empati terhadap flora dan fauna, kepedulian terhadap konsumsi energi, serta kemauan untuk terlibat dalam aksi lingkungan sederhana. Pendekatan holistik yang memadukan dimensi lingkungan, sosial, dan ekonomi menjadi kunci keberhasilan program tersebut, karena memberikan gambaran yang utuh tentang bagaimana keberlanjutan merupakan proyek kolektif yang melibatkan seluruh lapisan masyarakat (Goldman et al., 2013).

Namun, jika ditarik ke dalam konteks Indonesia, masih terdapat celah besar dalam pengembangan literasi lingkungan di sekolah-sekolah. Banyak

program edukasi yang belum sepenuhnya mengintegrasikan isu-isu lokal yang bersifat mendesak, seperti pencemaran plastik di pesisir, kerusakan hutan akibat ekspansi industri, atau pencemaran udara di wilayah urban. Kesenjangan antara pembelajaran teoritis dan realitas ekologis lokal menyebabkan siswa memahami isu lingkungan secara abstrak, tanpa mampu mengaitkannya dengan problem nyata di sekitarnya. Ketika literasi lingkungan tidak diperkaya dengan konteks lokal, siswa kehilangan peluang untuk memaknai lingkungan sebagai bagian integral dari kehidupan mereka sendiri. Oleh karena itu, pendidikan literasi lingkungan di Indonesia perlu lebih responsif terhadap isu-isu ekologis yang dialami masyarakat sehari-hari, sehingga kesadaran ekologis yang terbentuk tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga mengarah pada tindakan nyata yang relevan dengan kebutuhan lingkungan lokal (Suyitno et al., 2025).

### **Peran Literasi Kewarganegaraan**

Literasi kewarganegaraan dalam konteks keberlanjutan menghadirkan dimensi yang jauh melampaui pemahaman normatif tentang hak dan kewajiban warga negara. Ia berkembang menjadi arena pembentukan kesadaran ekologis yang terhubung dengan tanggung jawab sipil dan aksi kolektif, sehingga warga termasuk siswa, tidak hanya memandang lingkungan sebagai objek pasif, tetapi sebagai ruang hidup bersama yang menuntut komitmen moral dan tindakan sosial. Di sinilah konsep *environmental citizenship* menemukan relevansinya, yakni sikap kewarganegaraan yang tertanam dalam kesadaran ekologis dan diwujudkan melalui partisipasi aktif dalam menjaga keberlanjutan.

Aksi kolektif yang lahir dari sikap ini tidak didorong oleh instruksi eksternal, melainkan oleh pemahaman mendalam bahwa keberlangsungan ekosistem merupakan prasyarat bagi keberlanjutan sosial dan kesejahteraan generasi mendatang. Dengan demikian, literasi kewarganegaraan berfungsi sebagai medium yang menghubungkan identitas sebagai warga negara dengan tanggung jawab ekologis secara berkesinambungan.

Konsep *global citizenship* dan *responsible citizenship* memperluas pemahaman ini dengan menekankan bahwa tantangan lingkungan bersifat lintas batas baik secara geografis maupun generasional sehingga memerlukan kesadaran global dan tindakan lokal yang simultan. Melalui kerangka ini, siswa diajak memahami bahwa isu-isu seperti emisi karbon atau sampah plastik bukan hanya persoalan ilmiah, tetapi juga persoalan etika dan keadilan ekologis, yang menuntut respons substantif melalui pilihan-pilihan hidup yang bertanggung jawab (Hartung, 2017).

Keterhubungan antara literasi kewarganegaraan dan literasi ilmiah semakin tampak dalam konteks *socio-scientific issues* (SSI). Ketika siswa mempelajari isu-isu seperti deforestasi, penambangan, atau krisis energi, mereka tidak hanya membutuhkan pemahaman ilmiah, tetapi juga

kemampuan membangun argumen kewarganegaraan (*citizenship arguments*) yang mengintegrasikan dimensi etika, sosial, dan ekologis. Argumen-argumen ini membantu siswa merumuskan posisi kritis terhadap isu publik, menimbang antara manfaat dan risiko, serta membangun penilaian yang bertanggung jawab. Dalam proses ini, literasi ilmiah menjadi bahan bakar bagi refleksi etis, sedangkan literasi kewarganegaraan menjadi kerangka yang memandu tindakan. Sinergi keduanya membentuk kesadaran transformatif yang memungkinkan siswa berkontribusi secara nyata pada isu-isu keberlanjutan (Castano, 2008).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sikap peduli lingkungan terbukti meningkatkan praktik berkelanjutan melalui mekanisme refleksi kritis dan kolaborasi komunitas. Ketika siswa diajak berdialog mengenai dilema moral yang terkait dengan eksploitasi sumber daya, atau berpartisipasi dalam proyek komunitas seperti bank sampah, taman sekolah, atau gerakan penanaman pohon, mereka bukan hanya mengasah keterampilan kolaboratif, tetapi juga membangun komitmen afektif terhadap keberlanjutan. Refleksi kritis yang mereka lakukan memungkinkan mereka memahami alasan di balik setiap tindakan, sehingga aktivitas ekologis tidak dipersepsikan sebagai kewajiban administratif, tetapi sebagai bagian dari pemaknaan kewarganegaraan mereka (Ardoin et al., 2023).

Konteks pendidikan memberikan ruang strategis bagi penguatan literasi kewarganegaraan yang berorientasi lingkungan. Kegiatan seperti debat etika mengenai energi terbarukan, penggunaan plastik sekali pakai, atau keadilan lingkungan membantu siswa menguji argumen, memperluas perspektif, dan menilai konsekuensi moral dari setiap pilihan kolektif. Inisiatif sekolah seperti *school gardens* atau ekosistem mini di lingkungan sekolah tidak hanya berfungsi sebagai sarana pembelajaran praktis, tetapi juga sebagai ruang sosial yang membangun identitas ekologis siswa. Melalui interaksi langsung dengan tanah, tanaman, dan proses ekologis sederhana, siswa belajar bahwa keberlanjutan bukan konsep abstrak, melainkan pengalaman konkret yang mengikat mereka dengan komunitas dan lingkungan. Pada titik inilah, literasi kewarganegaraan menjadi kekuatan transformatif yang menyatukan pemahaman, sikap, dan tindakan menuju kehidupan yang lebih berkelanjutan (Gallay et al., 2025).

### **Implikasi Integratif Sustainability Awareness Pada Siswa**

Model integratif dalam pendidikan keberlanjutan semakin menempati posisi sentral dalam diskursus pedagogi kontemporer, terutama ketika sekolah dihadapkan pada kebutuhan untuk membentuk generasi yang mampu membaca kompleksitas krisis ekologis melalui lensa ilmiah sekaligus moral. Pendekatan *data-driven pedagogy* menjadi salah satu kerangka yang paling menjanjikan karena ia menggabungkan *mathematical modeling*, literasi

lingkungan, dan orientasi kewarganegaraan ke dalam satu kesatuan praktik pembelajaran yang saling melengkapi (Monte & Reis, 2021).

Ketika siswa diajak bekerja dengan data nyata misalnya data emisi karbon, indeks kualitas udara, atau tren penurunan tutupan hutan mereka tidak hanya belajar menghitung, tetapi juga menafsirkan dan mengkritisi informasi sebagai dasar untuk menentukan pilihan etis. *Mathematical modeling* memungkinkan mereka mensimulasikan berbagai skenario, sementara literasi lingkungan menuntun pada pemahaman ekologis, dan *citizenship activism* mendorong mereka mengartikulasikan hasil analisis tersebut dalam bentuk aksi publik, kampanye, atau advokasi di tingkat sekolah dan komunitas. Sinergi tiga komponen ini menciptakan ruang pembelajaran yang tidak hanya kognitif, tetapi juga transformatif, karena mengajak siswa menyadari posisi mereka sebagai aktor yang memiliki kapasitas untuk memengaruhi keberlanjutan (Anderson, 2024).

Efektivitas model integratif ini terlihat ketika siswa mengalami perubahan signifikan pada tingkat kesadaran lingkungan, terutama melalui mekanisme mediasi yang melibatkan pemahaman ekologis, empati moral, dan kemampuan mengambil keputusan berbasis data. *Environmental awareness* dalam konteks ini berperan sebagai penghubung antara pengetahuan ilmiah dengan perilaku berkelanjutan yang lebih konkret, seperti pengurangan limbah pribadi, partisipasi dalam gerakan ekologis sekolah, atau kontribusi terhadap inisiatif energi terbarukan.

Berbagai studi menunjukkan bahwa peningkatan kesadaran lingkungan sering kali menjadi prediktor kuat bagi praktik keberlanjutan, terutama ketika siswa diberi kesempatan untuk mengaitkan refleksi personal dengan analisis matematis dan aktivisme sipil. Namun efektivitas ini tidak sepenuhnya universal; terdapat gap gender yang menunjukkan bahwa perempuan cenderung menunjukkan empati ekologis dan komitmen berkelanjutan yang lebih tinggi dibandingkan laki-laki. Selain itu, faktor budaya termasuk norma kolektivitas, hierarki, dan persepsi terhadap alam berpengaruh besar terhadap bagaimana siswa menerjemahkan kesadaran lingkungan menjadi tindakan nyata. Di beberapa konteks budaya yang masih menempatkan alam sebagai sumber eksploitasi ekonomi ketimbang entitas moral, transformasi kesadaran menuju perilaku berkelanjutan membutuhkan strategi pedagogis yang lebih adaptif dan kontekstual.

Apabila dilihat semakin dalam, model integratif yang menggabungkan analisis data, pemodelan matematis, literasi lingkungan, dan kewarganegaraan ekologis menawarkan paradigma ekosistem pembelajaran dalam pembangunan *sustainability awareness* siswa. Ia menempatkan pendidikan sebagai ruang dialog antara sains, etika, dan tindakan sosial, sehingga keberlanjutan tidak hanya diajarkan sebagai pengetahuan, tetapi dihidupi sebagai orientasi hidup. Peningkatan kesadaran lingkungan yang muncul dari proses ini terbukti menjadi elemen mediasi yang penting dalam

pembentukan perilaku berkelanjutan, meskipun keberhasilannya tetap dipengaruhi oleh dinamika gender dan konteks budaya yang melingkupinya. Dengan demikian, pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan perlu terus mengembangkan pendekatan yang holistik, reflektif, dan berbasis bukti agar mampu melahirkan generasi yang tidak hanya memahami krisis ekologis, tetapi juga terlibat aktif dalam mengatasinya melalui tindakan yang lebih adil, bertanggung jawab, dan visioner.

## CONCLUSIONS

Tulisan ini mengambil kesimpulan bahwa diperlukan upaya pembangunan *sustainability awareness* sebagai fondasi kesadaran ekologis yang tertanam kuat dalam diri siswa. Peran literasi sains-matematis, lingkungan, dan kewarganegaraan adalah satu kesatuan yang menghubungkan jaringan kompetensi yang saling meneguhkan dalam membentuk cara pandang kritis terhadap persoalan. Ketika siswa memahami isu lingkungan melalui data ilmiah, menafsirkannya melalui analisis matematis, merasakannya melalui empati ekologis, dan mengartikulasikannya melalui tindakan kewarganegaraan, mereka memasuki proses pendidikan yang bersifat transformatif sebagai persoalan moral, sosial, dan politik yang memerlukan keputusan kolektif. Dengan demikian, *sustainability awareness* menjadi ruang pertemuan antara pengetahuan, sikap, dan tindakan, sehingga siswa tidak hanya sekadar mengetahui tetapi turut membentuk arah masa depan.

Temuan ini menegaskan pentingnya membangun ekosistem pendidikan yang terintegrasi, di mana sekolah, keluarga, dan komunitas saling mendukung pembentukan kesadaran keberlanjutan. Upaya membangun keberlanjutan perlu dipahami sebagai proyek pendidikan jangka panjang yang memerlukan keselarasan visi, kurikulum, dan praktik pembelajaran. Dengan menciptakan lingkungan pendidikan yang holistik dan interdependen, keberlanjutan menjadi orientasi hidup yang diwujudkan melalui tindakan nyata dan komitmen kolektif seluruh warga pendidikan.

## REFERENCES

- Anderson, J. (2024). How Mathematics in STEM Can Contribute to Responsible Citizenship Education in Schools. In *The Contribution of Mathematics to School STEM Education* (pp. 243–256). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-2728-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-97-2728-5_14)
- Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2023). A systematic mixed studies review of civic engagement outcomes in environmental education. *Environmental Education Research*, 29(1), 1–26. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2135688>
- Avelar, A. B. A., Silva-Oliveira, K. D. da, & Pereira, R. da S. (2019). Education for advancing the implementation of the Sustainable Development Goals: A

- systematic approach. *The International Journal of Management Education*, 17(3), 100322. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2019.100322>
- Ayuningrum, D., Hariono, E., Anggaryani, M., Satriawan, M., Prahani, B. K., & Saphira, H. V. (2025). Exploration of Sustainability Literacy Through Environmental Perspectives in the Context of Energy Conservation and Transformation. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, 13(3), 689–702. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v13i3.15941>
- Barwell, R. (2013). The mathematical formatting of climate change: critical mathematics education and post-normal science. *Research in Mathematics Education*, 15(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/14794802.2012.756633>
- Barwell, R. (2018). Some Thoughts on a Mathematics Education for Environmental Sustainability. In P. Ernest (Ed.), *The Philosophy of Mathematics Education Today*. (pp. 145–160). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77760-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77760-3_9)
- Bybee, R. W. (2008). Scientific Literacy, Environmental Issues, and PISA 2006: The 2008 Paul F-Brandwein Lecture. *Journal of Science Education and Technology*, 17(6), 566–585. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9124-4>
- Bybee, R. W. (2012). Science, Environment, Health. In A. Zeyer & R. Kyburz-Graber (Eds.), *Towards a Renewed Pedagogy for Science Education* (pp. 49–67). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3949-1>
- Castano, C. (2008). Socio-Scientific Discussions as a Way to Improve the Comprehension of Science and the Understanding of the Interrelation between Species and the Environment. *Research in Science Education*, 38(5), 565–587. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9064-7>
- Coles, A., Solares-Rojas, A., & le Roux, K. (2024). Socio-ecological gestures of mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 116(2), 165–183. <https://doi.org/10.1007/s10649-024-10318-4>
- Diamond, S., & Irwin, B. (2013). Using e-learning for student sustainability literacy: framework and review. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 14(4), 338–348. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-09-2011-0060>
- Gallay, E., Shantz, E., Flanagan, C., Pykett, A., & Voelker, L. (2025). Environmental civic science: Civic and scientific literacy on socio-environmental issues for the common good. *Theory Into Practice*, 64(2), 154–167. <https://doi.org/10.1080/00405841.2025.2453365>
- Goldman, D., Assaraf, O. B. Z., & Shaharabani, D. (2013). Influence of a Non-formal Environmental Education Programme on Junior High-School Students' Environmental Literacy. *International Journal of Science Education*, 35(3), 515–545. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.749545>
- Hartung, C. (2017). Global citizenship incorporated: competing responsibilities in the education of global citizens. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, 38(1), 16–29. <https://doi.org/10.1080/01596306.2015.1104849>
- Huang, H., & Hsin, C. Te. (2023). Environmental Literacy Education and Sustainable Development in Schools Based on Teaching Effectiveness.

- International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(5), 1639–1648. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180535>
- Husamah, H., Rahardjanto, A., Permana, T. I., & Lestari, N. (2025). The relationship between environmental literacy, ecological literacy, and science for sustainability: A systematic literature review. *Research and Development in Education (RaDEn)*, 5(1), 351–364. <https://doi.org/10.22219/raden.v5i1.39957>
- Krajcik, J. S., & Sutherland, L. M. (2010). Supporting Students in Developing Literacy in Science. *Science*, 328(5977), 456–459. <https://doi.org/10.1126/science.1182593>
- Monte, T., & Reis, P. (2021). Design of a Pedagogical Model of Education for Environmental Citizenship in Primary Education. *Sustainability*, 13(11), 6000. <https://doi.org/10.3390/su13116000>
- Parker, L. (2018). Environmentalism and education for sustainability in Indonesia. *Indonesia and the Malay World*, 46(136), 235–240. <https://doi.org/10.1080/13639811.2018.1519994>
- Prayogo, A., & Syahputra, H. (2022). Peran Taman Bacaan Masyarakat Dalam Meningkatkan Budaya Literasi. *Jurnal Imam Bonjol: Kajian Ilmu Informasi Dan Perpustakaan*, 6(2), 107–119.
- Qureshi, S. M. Q. (2020). Learning by sustainable living to improve sustainability literacy. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(1), 161–178. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-01-2019-0001>
- Saarna, R., & Laius, A. (2025). The sustainability literacy assessment instruments: a systematic literature review. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 17(June), 1. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-01-2025-0048>
- Spiropoulou, D., Antonakaki, T., Kontaxaki, S., & Bouras, S. (2007). Primary Teachers' Literacy and Attitudes on Education for Sustainable Development. *Journal of Science Education and Technology*, 16(5), 443–450. <https://doi.org/10.1007/s10956-007-9061-7>
- Stevenson, K. T., Peterson, M. N., Bondell, H. D., Mertig, A. G., & Moore, S. E. (2013). Environmental, Institutional, and Demographic Predictors of Environmental Literacy among Middle School Children. *PLoS ONE*, 8(3), e59519. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059519>
- Suyitno, Lukma, H. N., & Sofiyana, M. S. (2025). Penerapan prinsip education for sustainable development dalam pembentukan perilaku berkelanjutan siswa. *Jurnal Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (JP2M)*, 6(3), 853–866. <https://doi.org/10.33474/jp2m.v6i3.23918>
- Wahyuni, H., & Suranto, S. (2021). Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *JlIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1), 148–162. <https://doi.org/10.14710/jljp.v6i1.10083>
- Yore, L. D., Pimm, D., & Tuan, H.-L. (2007). The Literacy Component of Mathematical and Scientific Literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(4), 559–589. <https://doi.org/10.1007/s10763-007-9089-4>