



SEMBIO: Prosiding Seminar Nasional Biologi dan Pendidikan Biologi

Volume 5, 2026, pp.

ISSN 2987-002X (Online)

DOI: 1059672/sembio.v6.6211

INTEGRASI *MICRO-LEARNING* DALAM PENDIDIKAN BIOLOGI UNTUK PENGUATAN LITERASI SAINS DAN NUMERASI

I Nengah Suka Widana¹

¹Universitas PGRI Mahadewa Indonesia, Denpasar, Indonesia; *sukawidana@mahadewa.ac.id

ARTICLE INFO

Article history

Received January 1, 2026

Revised February 1, 2026

Accepted February 12, 2026

Available online February 28, 2026

Keyword: micro-learning, biology education, scientific literacy, numeracy literacy, 21st-century learning

*Copyright © by Author. Published by
Prodi Pendidikan Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas PGRI Mahadewa Indonesia*

Abstract. This article aims to comprehensively examine the integration of micro-learning in biology education and its implications for strengthening scientific and numeracy literacy. The writing method employed is a literature review. A total of 47 scientific literature sources (reference books, national journals, and relevant international journals) were analyzed using thematic analysis techniques. Thematic analysis was conducted to identify patterns, themes, and conceptual meanings related to the role of micro-learning in biology learning in the digital era. The synthesis results indicate that: (1) micro-learning is an innovative pedagogical approach that is modular, focused, flexible, and learner-centered, thereby improving effectiveness, engagement, and learning retention; (2) in biology learning, micro-learning functions as a deep learning technique that acts as cognitive scaffolding, encourages concept exploration, strengthens meaningful understanding, and supports active learning; and (3) micro-learning significantly contributes to strengthening scientific and numeracy literacy through gradual concept presentation, increased motivation, reinforcement of critical thinking, and the ability to interpret data and scientific phenomena. Despite its considerable potential, the implementation of micro-learning still faces challenges, particularly related to teacher readiness, content design quality, and technological infrastructure limitations. However, with policy support, continuous training, and integration with instructional models such as blended learning and flipped classroom, micro-learning has the potential to become a transformative and sustainable learning strategy. Overall, micro-learning is not merely a technical innovation but a comprehensive pedagogical approach capable of reconstructing biology learning to be more meaningful, inclusive, and relevant to 21st-century demands.

PENDAHULUAN

Perubahan paradigma pembelajaran sebagai akibat dari transformasi pembelajaran di era digital, termasuk dalam proses pembelajaran biologi. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang sangat cepat, menciptakan peluang perubahan dalam cara-cara peserta didik mengakses,

memproses, dan membangun pengetahuan (Fu, 2013; Puteri dkk., 2025). Beberapa kekurangan pola pembelajaran konvensional yaitu bersifat satu arah dan berorientasi pada penguasaan materi, dinilai kurang mampu menjawab tantangan dan kebutuhan pembelajaran abad ke-21 yang lebih menekankan pada pemahaman mendalam (*deep learning*), kemampuan berpikir kritis, serta penguatan literasi sains dan numerasi (Kosasih dkk., 2025).

Pada materi pembelajaran biologi yang konsen mengkaji alam dan makhluk hidup, maka penguasaan terhadap literasi sains dan numerasi adalah wajib dimiliki peserta didik yang bermanfaat untuk fenomena alam, mengambil keputusan berbasis data, serta memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari. Dalam konteks pembelajaran biologi, literasi sains berkaitan dengan kemampuan memahami konsep biologis proses ilmiah serta penerapannya dalam kehidupan (Ramadani & Jayanti, 2023), sedangkan literasi numerasi berhubungan dengan kemampuan menginterpretasikan data, grafik, tabel, dan perhitungan kuantitatif dalam kajian biologis (Aini dkk., 2024). Namun demikian, berbagai hasil kajian terhadap hasil pembelajaran menunjukkan bahwa kemampuan literasi sains dan numerasi peserta didik masih perlu ditingkatkan. Kajian literatur tentang upaya memperkuat *science numeracy literacy* menunjukkan tantangan signifikan seperti minat baca rendah, fasilitas terbatas, dan perbedaan tingkat literasi antar siswa yang menjadi hambatan dalam meningkatnya kemampuan numerasi siswa. Ini menjadi bukti bahwa literasi numerasi masih perlu dikembangkan melalui strategi pembelajaran yang lebih baik (Amanda & Kesuma, 2025).

Kompleksitas materi dan keterbatasan waktu belajar adalah salah satu tantangan dalam pelaksanaan pembelajaran biologi yang sering sebagai penyebab pembelajaran bersifat dangkal dan berorientasi pada hafalan. Kondisi ini semakin diperparah dengan rendahnya keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran. Data hasil evaluasi Kemendikbudristek melalui *rapor public* dan Pers Nasional didasarkan atas Asesmen Nasional (AN) dan Asesmen Kompetensi Minimum (AKM)-Indonesia 2022-2024/2025, bahwa proporsi peserta didik yang mencapai kompetensi minimum terhadap literasi (kemampuan membaca dan memahami teks), yaitu pada tahun 2022 sebesar 59,49%; tahun 2023 sebesar 68,05%; dan tahun 2024, sebesar 70,03%, dari tahun ke tahun berkecenderungan terdapat peningkatan. Sedangkan Numerasi (kemampuan menggunakan matematika dalam konteks nyata) kompetensi minimum yang dicapai peserta didik pada tahun 2022 sebesar 45,24%; pada tahun 2023 sebesar 62,45%; dan pada tahun 2024 sebesar 67,94%, juga menunjukkan tren peningkatan dalam capaiannya (Larasati, 2025).

Berdasarkan kondisi-kondisi tersebut, diperlukan strategi pembelajaran inovatif yang mampu menyajikan materi secara efektif, kontekstual, dan berkelanjutan. Jawaban dari permasalahan tersebut adalah penerapan pembelajaran mikro atau *micro-learning*. Beberapa kebaikan dari *micro-learning*, menurut Silva dkk. (2025) bahwa *micro-learning* sangat potensial dalam meningkatkan keterlibatan siswa, retensi informasi, serta fleksibilitas pembelajaran, terutama dalam konteks pendidikan dasar yang digitalisasi. *Micro-learning* sebagai strategi pembelajaran yang dinilai relevan dalam konteks menjawab tantangan tersebut. *Micro-learning* menekankan penyajian materi pembelajaran dalam unit-unit kecil, terfokus, dan mudah diakses melalui media digital. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik belajar secara mandiri, fleksibel, dan berulang sesuai kebutuhan, sehingga berpotensi mendukung pembelajaran mendalam serta meningkatkan pemahaman konsep biologi. Selain itu, *micro-learning* dapat diintegrasikan dengan aktivitas analisis data sederhana, pemecahan masalah, dan interpretasi fenomena biologis, sehingga mendukung penguatan literasi sains dan numerasi.

Berdasarkan sumber-sumber dan uraian tersebut, penting dikaji secara konseptual bagaimana integrasi *micro-learning* dalam pendidikan biologi dapat menjadi strategi pembelajaran yang efektif dalam memperkuat literasi sains dan numerasi peserta didik. Hasil-hasil kajian diharapkan dapat

memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan pembelajaran biologi di era digital.

Berdasarkan latar belakang tersebut, masalah-masalah utama yang dikaji pada penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Bagaimana konsep dan karakteristik *micro-learning* dalam konteks pembelajaran di era digital? (2) Bagaimana peran *micro-learning* dalam pembelajaran biologi untuk mendukung pembelajaran mendalam (*deep learning*)? (3) Bagaimana integrasi *micro-learning* dapat memperkuat literasi sains dan numerasi dalam pendidikan biologi? (4) Apa saja peluang dan tantangan penerapan *micro-learning* dalam pembelajaran biologi?

Penulisan artikel ini bertujuan untuk: (1) Mendeskripsikan konsep dan karakteristik *micro-learning* dalam pembelajaran di era digital. (2) Mengkaji peran *micro-learning* sebagai strategi pembelajaran mendalam dalam pendidikan biologi. (3) Menganalisis integrasi *micro-learning* dalam pembelajaran biologi untuk penguatan literasi sains dan numerasi. (4) Mengidentifikasi peluang dan tantangan penerapan *micro-learning* dalam pembelajaran biologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran di Era Digital

Era digital ditandai dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang berdampak signifikan terhadap dunia pendidikan. Prajapati (2025) menyatakan bahwa integrasi ICT telah secara fundamental mengubah pendekatan pedagogis dan pengalaman belajar, termasuk dalam meningkatkan akses sumber belajar, personalisasi pembelajaran, dan kolaborasi siswa-guru. Wang (2024) menyatakan bahwa perkembangan ICT yang terus meningkat menjadi katalis perubahan dalam pendidikan, termasuk pada proses pembelajaran dan pengajaran, serta dalam struktur pendidikan secara umum. Pada era digital saat ini, proses pembelajaran tidak lagi terbatas pada ruang kelas, sumber belajar yang terbatas, namun telah berkembang menjadi pembelajaran yang terbuka, fleksibel, dan berbasis teknologi digital. *Digital learning* memungkinkan proses belajar terjadi tanpa batas ruang dan waktu melalui perangkat digital, seperti komputer, *smartphone*, dan internet, serta sumber materi digital seperti video dan *e-book* (Rahim, 2023). Peserta didik memiliki akses luas terhadap berbagai sumber informasi, media interaktif, dan *platform* pembelajaran daring yang memungkinkan terjadinya pembelajaran sepanjang hayat (*life long learning*).

Dalam konteks pendidikan, pembelajaran di era digital, dituntut perubahan peran pendidik dari penyampai informasi menjadi fasilitator yang membantu peserta didik membangun pengetahuan secara aktif. Pembelajaran tidak hanya berfokus pada penguasaan konten, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, pemecahan masalah, serta kemampuan literasi, termasuk literasi sains dan numerasi. Oleh karena itu, diperlukan strategi pembelajaran inovatif yang mampu mengakomodasi karakteristik peserta didik digital (*digital native*) yang cenderung menyukai pembelajaran singkat, visual, interaktif, dan bermakna. Prensky (2001) dalam Wang (2012), Prensky telah memperkenalkan konsep *digital native* yang mengacu pada individu yang lahir dan tumbuh bersama teknologi digital, sehingga memiliki keterampilan digital intuitif namun tetap membutuhkan pembelajaran bermakna dalam konteks edukatif formal (meskipun dapat mengoperasikan teknologi, mereka tetap perlu diajarkan *digital literacy* dalam konteks pendidikan). Dalam mengakomodasi karakteristik pembelajaran peserta didik *native digital* maka diperlukan strategi pembelajaran inovatif berupa *micro-learning*. *Micro-learning* sebagai Strategi Pembelajaran Peningkatan Kemampuan Berpikir Siswa (SPPKB) di era digital (Farhan dkk., 2024).

Konsep *Micro-learning*

Asal usul munculnya konsep *micro-learning*, bahwa konsep ini berkembang secara bertahap dan tidak memiliki satu *founder* tunggal seperti teori besar lainnya, tetapi beberapa langkah penting dalam sejarahnya meliputi: (1) Istilah “*micro-learning*” pertama kali muncul dalam buku *The Economics*

of *Human Resources* oleh Héctor Correa pada tahun 1963 dalam Corbeil & Corbeil (2023), ketika ia membahas konsep pembelajaran pada level mikro terkait kurva belajar dan penguasaan keterampilan tertentu. Istilah ini digunakan dalam konteks mikro-analisis pendidikan meskipun belum berhubungan langsung dengan pembelajaran digital yang kita kenal sekarang. (2) Perkembangan konsep *micro-learning* di era modern, pada 2005, istilah dan konsep *micro-learning* dalam konteks pembelajaran berbasis teknologi digital dipopulerkan oleh Theo Hug dalam catatan pengantar konferensi pertama mengenai *micro-learning* yang diselenggarakan di Innsbruck, Austria. Hug dalam Corbeil & Corbeil (2023) mengaitkannya dengan *microcontent* dan *microknowledge* yang relevan untuk lingkungan belajar digital modern.

Micro-learning merupakan pendekatan pembelajaran yang menyajikan materi dalam unit-unit kecil (*micro content*) yang terfokus pada tujuan pembelajaran tertentu. Setiap unit *micro-learning* dirancang agar dapat dipelajari dalam waktu singkat, mudah diakses, dan fleksibel, baik melalui perangkat komputer maupun perangkat *mobile*. *Micro-learning* tidak dimaksudkan untuk menggantikan pembelajaran utuh, melainkan sebagai bagian dari strategi pembelajaran yang lebih luas. Lebih lanjut Corbeil & Corbeil (2023) menyebutkan karakteristik utama *micro-learning* meliputi: (a) Konten singkat dan terfokus, hanya membahas satu konsep atau keterampilan utama; (b) Durasi pembelajaran pendek, umumnya beberapa menit; (c) Fleksibel dan mudah diakses, dapat dipelajari kapan dan di mana saja; (d) Berbasis digital, memanfaatkan video pendek, infografis, kuis singkat, simulasi, atau modul interaktif; (e) Mendukung pembelajaran mandiri dan berulang, sehingga memperkuat pemahaman konsep. Dalam konteks pedagogis, *micro-learning* sejalan dengan teori kognitif yang menekankan keterbatasan kapasitas memori kerja. Penyajian materi dalam potongan kecil membantu mengurangi beban kognitif (*cognitive load*) oleh Sweller (1988) dan meningkatkan efektivitas pemahaman serta retensi informasi.

Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*)

Istilah *deep learning* adalah teknik pembelajaran dalam kecerdasan buatan yang menggunakan jaringan saraf tiruan berlapis untuk mengekstrak representasi data secara hierarkis, berbeda dari *machine learning* tradisional yang mengandalkan rekayasa fitur manual. Model-model *deep learning* seperti jaringan neural dalam dapat mengenali pola kompleks, memungkinkan aplikasi seperti pengenalan gambar dan pemrosesan bahasa alami. Dalam pendidikan, istilah *deep learning* juga dipakai secara metaforis untuk menggambarkan pendekatan pembelajaran yang menekankan pemahaman mendalam siswa terhadap konsep serta kemampuan berpikir kritis dan aplikatif (Wikipedia; UNESA; *Applied Soft Computing*, 2025).

Pembelajaran mendalam (*deep learning*) merupakan pendekatan pembelajaran yang menekankan pemahaman konsep secara menyeluruh, bermakna, dan berkelanjutan. Pembelajaran ini tidak hanya berorientasi pada hasil akhir berupa nilai, tetapi pada proses berpikir peserta didik dalam menghubungkan konsep, menganalisis informasi, dan menerapkannya dalam berbagai konteks. Ciri-ciri pembelajaran mendalam meliputi: (1) Keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran; (2) Penekanan pada pemahaman konsep, bukan hafalan; (3) Pengembangan kemampuan berpikir kritis, analitis, dan reflektif; (4) Keterkaitan antara konsep yang dipelajari dengan konteks kehidupan nyata (Unesa, 2025). *Micro-learning*, meskipun bersifat singkat, dapat mendukung pembelajaran mendalam apabila dirancang secara sistematis dan terintegrasi. Unit-unit *micro-learning* yang saling terhubung dapat membangun pemahaman bertahap dan mendorong peserta didik untuk merefleksikan serta mengaitkan konsep biologi secara komprehensif.

Literasi Sains dalam Pendidikan Biologi

OECD (2019; 2023) mendefinisikan literasi sains sebagai *Engage with science-related issues*: siswa mampu terlibat dengan isu-isu sains yang relevan dalam kehidupan nyata; *Reflective citizen*: literasi sains dibangun untuk warga yang *reflektif* (bukan sekadar pintar secara akademik); *Explain phenomena scientifically*: siswa mampu *menjelaskan fenomena berdasarkan prinsip ilmiah*, bukan hanya mengingat istilah; *Evaluate & design enquiry*: siswa mampu mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah

(bukan sekadar ingat teori); *Interpret data & evidence*: siswa mampu membaca dan menafsirkan data secara ilmiah. Secara ringkas literasi sains adalah kemampuan individu untuk menjelaskan fenomena secara ilmiah; mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah; menafsirkan data dan bukti ilmiah. Biologi menjadi domain utama literasi sains karena berkaitan langsung dengan fenomena kehidupan dan kontekstual dengan isu kesehatan, lingkungan serta bioteknologi. Literasi sains merupakan kemampuan individu untuk memahami konsep dan proses sains, menggunakan pengetahuan sains dalam pengambilan keputusan, serta memecahkan masalah yang berkaitan dengan fenomena alam dan sosial.

Implementasi literasi sains dalam pembelajaran biologi terlihat dari penerapan berbagai model pembelajaran, media pembelajaran, dan pendekatan pembelajaran yang dapat meningkatkan hasil belajar peserta didik yaitu dengan menumbuhkan kemampuan berpikir kritis, penemuan, dan pemecahan masalah, komunikasi serta kolaborasi peserta didik (Gusnita, dkk., 2022). Dalam pendidikan biologi, literasi sains mencakup pemahaman konsep biologis, proses ilmiah, serta kemampuan menerapkan pengetahuan biologi dalam kehidupan sehari-hari. Pembelajaran biologi yang berorientasi pada literasi sains menekankan: (1) Pemahaman konsep dasar dan prinsip biologi; (2) Kemampuan mengamati, menanya, dan menyimpulkan fenomena biologis; (3) Pemanfaatan data dan bukti ilmiah; (4) Kesadaran terhadap isu-isu lingkungan, kesehatan, dan keberlanjutan. Integrasi *micro-learning* dalam pembelajaran biologi dapat memperkuat literasi sains melalui penyajian konten kontekstual, visualisasi proses biologis, serta latihan analisis fenomena secara bertahap dan terfokus.

Literasi Numerasi dalam Pembelajaran Biologi

Literasi numerasi adalah kemampuan menggunakan konsep dan keterampilan matematika untuk memahami, menganalisis, dan menyelesaikan masalah dalam berbagai konteks kehidupan sehari-hari dan menganalisis informasi dalam grafik, tabel, bagan untuk prediksi dan pengambilan keputusan (Susanto dkk., 2017). Literasi numerasi sangat penting dalam memahami konsep biologi secara mendalam (Azzahra dkk., 2025). Dalam pembelajaran biologi, literasi numerasi berperan penting dalam membaca dan menafsirkan data, grafik, tabel serta melakukan perhitungan kuantitatif sederhana, seperti laju pertumbuhan populasi, persentase, dan perbandingan (Aini dkk., 2024). Penguatan literasi numerasi dalam pembelajaran biologi memungkinkan peserta didik untuk: (1) Menginterpretasikan data hasil pengamatan atau eksperimen; (2) Menganalisis grafik dan tabel biologis; (3) Menghubungkan data kuantitatif dengan konsep biologi; (4) Mengambil keputusan berbasis data ilmiah.

Micro-learning dapat digunakan untuk menyajikan latihan numerasi dalam konteks biologi secara singkat dan kontekstual, sehingga membantu peserta didik memahami keterkaitan antara konsep sains dan data numerik secara lebih efektif.

Integrasi *Micro-learning* dalam Pendidikan Biologi

Integrasi *micro-learning* dalam pendidikan biologi merupakan upaya strategis untuk menyesuaikan pembelajaran dengan tuntutan era digital. Nurfazirah dkk., (2023) telah meneliti tentang pengembangan media pembelajaran berbentuk *micro-learning* pada materi keanekaragaman hayati, yang terbukti memiliki validitas yang memadai dan praktis. Melalui *micro-learning*, materi biologi yang kompleks dapat dipecah menjadi unit-unit pembelajaran kecil yang terstruktur dan saling terhubung. Hal ini memudahkan peserta didik dalam memahami konsep secara bertahap dan mendalam. Guao dkk., (2024) bahwa model kelas terbalik dengan pembelajaran mikro dapat meningkatkan hasil akademik dan keterlibatan siswa dalam biologi.

Integrasi *micro-learning* yang efektif perlu memperhatikan keselarasan antara tujuan pembelajaran, konten biologi, aktivitas pembelajaran, serta penguatan literasi sains dan numerasi. Dengan desain yang tepat, *micro-learning* tidak hanya berfungsi sebagai media penyampaian informasi, tetapi juga

sebagai strategi pembelajaran mendalam yang mendorong keterampilan berpikir kritis, analitis, dan pemecahan masalah.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil kajian dari berbagai sumber, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Micro-learning* merupakan pendekatan pedagogis inovatif yang relevan, adaptif, dan strategis dalam pengembangan pembelajaran biologi di era digital. *Micro-learning* tidak hanya dipahami sebagai penyajian materi dalam format singkat, tetapi sebagai desain pembelajaran yang modular, terfokus, fleksibel, dan berpusat pada peserta didik, dengan tujuan meningkatkan efektivitas, keterlibatan, dan retensi belajar.
2. Dalam konteks pembelajaran biologi, *micro-learning* berfungsi sebagai strategi pembelajaran mendalam yang mampu menjadi *scaffolding kognitif*, mendorong eksplorasi konsep, memperkuat pemahaman bermakna, serta mendukung pembelajaran aktif. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik membangun pemahaman konseptual secara bertahap, reflektif, dan kontekstual, sesuai dengan karakteristik materi biologi yang kompleks dan abstrak.
3. *Micro-learning* terbukti berperan signifikan dalam penguatan literasi sains dan literasi numerasi. Melalui penyajian konsep yang terstruktur dan bertahap, *micro-learning* meningkatkan motivasi, keterlibatan, berpikir kritis, serta kemampuan menginterpretasi data dan fenomena ilmiah. Dengan demikian, *micro-learning* berkontribusi pada pembentukan peserta didik yang tidak hanya memahami konsep biologis, tetapi juga mampu berpikir ilmiah, analitis, dan adaptif terhadap tantangan abad ke-21.
4. Meskipun memiliki potensi besar, implementasi *micro-learning* dalam pembelajaran biologi masih menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait kesiapan pendidik, kualitas desain konten, serta keterbatasan infrastruktur teknologi. Namun, dengan dukungan kebijakan, pelatihan yang berkelanjutan, serta integrasi dengan model pembelajaran seperti *blended learning* dan *flipped classroom*, *micro-learning* berpeluang menjadi strategi pembelajaran yang berkelanjutan dan transformatif.
5. Secara keseluruhan, *micro-learning* tidak sekadar merupakan inovasi teknis, melainkan sebuah pendekatan pedagogis komprehensif yang mampu merekonstruksi cara pembelajaran biologi dirancang, dilaksanakan, dan dievaluasi. Pendekatan ini berpotensi kuat dalam membangun pembelajaran yang lebih bermakna, inklusif, dan relevan dengan tuntutan literasi sains, literasi numerasi, serta keterampilan abad ke-21.

Saran

Berdasarkan simpulan tersebut, beberapa saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Pendidik: Pendidik Biologi diharapkan dapat mengembangkan dan mengintegrasikan *micro-learning* secara kreatif dan terencana dalam pembelajaran, dengan memperhatikan keselarasan antara tujuan pembelajaran, konten biologi, serta penguatan literasi sains dan numerasi.
2. Bagi Lembaga Pendidikan: Lembaga pendidikan disarankan untuk mendukung implementasi *micro-learning* melalui penyediaan infrastruktur teknologi, pelatihan pendidik, serta kebijakan pembelajaran yang mendorong inovasi dan pemanfaatan teknologi digital secara optimal.
3. Bagi Peneliti selanjutnya: Kajian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan penelitian empiris untuk menguji efektivitas integrasi *micro-learning* dalam pembelajaran biologi terhadap peningkatan literasi sains dan numerasi peserta didik pada berbagai jenjang pendidikan.

4. Bagi Pengembangan Kurikulum: Integrasi *micro-learning* dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari strategi pembelajaran dalam pengembangan kurikulum biologi yang adaptif, kontekstual, dan berorientasi pada pembelajaran mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, V., Hidayat, T., Kusnadi, K., Williams, C., & Hadibarata, T. (2024). Analysis numeracy literacy skills of high school students in biodiversity material based on Minimum Competency Assessment questions. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(1), 128–136. <https://doi.org/10.15294/jpii.v13i1.49265>
- Aini, V., Hidayat, T., Kusnadi, K., Williams, C., & Hadibarata, T. (2024). Analysis numeracy literacy skills of high school students in biodiversity material based on minimum competency assessment questions. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(1), 128–136. <https://doi.org/10.15294/jpii.v13i1.49265>
- Azzahra, W., Diana, S., Nuraeni, E., & Haryanto. (2025). Teachers' perceptions of numeracy literacy-based biology learning. *EASE Letters*, 4(1), 193–206. <https://easeletters.org/jms/index.php/easeletters/article/view>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Corbeil, J. R., Khan, B. H., & Corbeil, M. E. (Eds.). (2021). *Micro-learning in the digital age: The design and delivery of learning in snippets*. [Publisher].
- Corbeil, R., & Corbeil, M. E. (2023). *Micro-learning: The "OG" or hot new trend?* EDUCAUSE Review. <https://er.educause.edu/articles/2023/8/micro-learning-the-og-or-hot-new-trend>
- Creswell, J. W. (2028) *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, SAGE Publications, Inc.
- Ekundayo, O. S., & Ezugwu, A. E. (2025). *Deep learning: Historical overview from inception to actualization, models, applications and future trends*. *Applied Soft Computing*, 181, 113378. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2025.113378>
- Farhan, A. F. M. U., et al. (2025). *Micro-learning sebagai Strategi Pembelajaran di Era Digital*. *Jurnal Basicedu*
- Fu, J. S. (2013). ICT in education: A critical literature review and its implications. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 9(1), 112–125.
- Green, B. N., Johnson, C. D., & Adams, A. (2006). Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: Secrets of the trade. *Journal of Chiropractic Medicine*, 5(3), 101–117. [https://doi.org/10.1016/S0899-3467\(07\)60142-6](https://doi.org/10.1016/S0899-3467(07)60142-6)
- Guo, J., Petsangsri, S., Ratana-Olarn, T., Hong, H., & Cui, J. (2024). A flipped classroom with micro-learning based model for enhancing student academic outcomes and engagement in biology. *Journal of Research Administration*, 6(1). <https://journlra.org/index.php/jra/article/view/1769>
- Gusnita, A., Pane, F. H., & Fitri, R. (2022). Implementasi Literasi Sains dalam Pembelajaran Biologi SMA. *Prosiding Seminar Nasional Biologi* 4, 2(2), 929–937. <https://doi.org/10.24036/prosemnasbio/vol2/527>
- Han, W., Susanto, D., Dewayani, S., Pandora, P., Hanifah, N., Miftahussururi, M., Nento, M. N., & Akbari, Q. S. (2017). *Materi pendukung literasi numerasi*. Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar & Menengah, Kementerian Pendidikan, & Kebudayaan.
- Kapp, K. M., & Defelice, R. A. (2019). *Micro-learning: Short and sweet*. *Association for Talent Development*. <https://www.amazon.com/Micro-learning-Short-Karl-M-Kapp/dp/1949036731>
- Kosasih, A., Hyangsewu, P., Faqihuddin, A., Fakhruddin, A., Sartika, R., Nasrudin, E., & Fikri, M. (2025). Strategi Peningkatan Literasi *Deep Learning* bagi Guru dalam Melaksanakan Pembelajaran di Abad ke-21 melalui Kegiatan Pelatihan. *Jurnal Publikasi Pendidikan*, 15(3). <http://ojs.unm.ac.id/index.php/pubpend>

- Larasati, C. (2025). *Kompetensi minimum literasi dan numerasi siswa di Asesmen Nasional meningkat, tapi...* Medcom.id. <https://www.medcom.id/pendidikan/news-pendidikan/Rkjr8lwk-kompetensi-minimum-literasi-dan-numerasi-siswa-di-asesmen-nasional-meningkat-tapi>
- Mail, R. A., & Kesuma, S. R. H. (2025). Literatur review: Strengthening science numeracy literacy to improve student understanding in science learning. *Indonesian Journal of Education and Development Research*, 3(2). <https://doi.org/10.57235/ijedr.v3i2.5554>
- Marcelle, P., & Brahim, A. (n.d.). *Micro-learning*. EdTech Books.
- Ng, W. (2012). Can we teach digital natives digital literacy? *Computers & Education*, 59(3), 1065–1078. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.04.016>
- Nurfazirah, Fitriani, V., & Susanti, D. (2023). Pengembangan media pembelajaran berbentuk micro-learning pada materi keanekaragaman hayati. *Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, 2(4), 1060–1070. <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i2.1373>
- OECD. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework: Science*
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume I)*
- Prajapati, A. B. (2025). *Transforming Education: The Revolutionary Impact of Information and Communication Technology in 21st Century Classrooms*. <https://vidyajournal.org/index.php/vidya/article/view/638>
- Puteri, A. R., Nasution, W. N., & Nasution, M. I. P. (2025). Integrasi teknologi informasi dan komunikasi dalam pendidikan: Konsep, perkembangan, dan inovasi media pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Indonesia: Teori, Penelitian dan Inovasi*, 5(4). <https://doi.org/10.59818/jpi.v5i4.1760>
- Puteri, Y. A., Habibullah, B., Apriyanto, R., Azizah, K., Nazira, A., Permata Dewi, D. Z., Saputri, F. O. D., Rihatmi, Mun'amah, A. N., Febrianty, N. B., Salsabila, F., Laelatuza'rah, & Anggraini, M. (2023). *Pembelajaran digital: Membaca konteks pendidikan era modernisasi di Indonesia* (A. Rahim, Ed.). Penamuda Media. ISBN 978-623-09-6790-.
- Ramadani, W., & Jayanti, U. N. A. D. (2023). Kesesuaian buku teks biologi SMA materi jamur kelas X berdasarkan komponen literasi sains. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 6(2), 399–? <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v6i2.6580>
- Silva, E. S., da Costa, W. P., de Lima, J. C., & Ferreira, J. C. (2025). Contribution of micro-learning in basic education: A systematic review. *Education Sciences*, 15(3), 302. <https://doi.org/10.3390/educsci15030302>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. <https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202>
- Unesa (2025). *Memahami Terminologi Deep Learning dalam Kurikulum dan Teknologi AI*. <https://s2pendidikanbahasainggris.fbs.unesa.ac.id/post/memahami-terminologi-deep-learning-dalam-kurikulum-dan-teknologi-ai>
- Wang, X. (2022). An overview of ICT and educational change: Development, impacts, and factors. *Journal of Contemporary Educational Research*, 6(8), 1–8. <https://doi.org/10.26689/jcer.v6i8.4191>
- Wikipedia (n.d). *Deep learning*. https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning