



MODUL IPA BERBASIS PROBLEM BASED LEARNING TERINTEGRASI KOMIK UNTUK MENINGKATKAN LITERASI SAINS

Tati Hartati¹Zaenal Abidin², Agus Yadi Ismail³

Program Studi Pendidikan Biologi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Kuningan¹²³

e-mail: 20241310009@uniku.ac.id

Diterima: 16/09/2026; Direvisi: 22/09/2026; Diterbitkan: 30/09/2026

ABSTRAK

Kemampuan literasi sains peserta didik merupakan salah satu aspek penting dalam pembelajaran IPA, tetapi masih menghadapi berbagai tantangan. Kondisi tersebut tercermin dari hasil tes awal literasi sains peserta didik kelas VII SMPN 1 Klangenan, Kabupaten Cirebon, yang menunjukkan rata-rata nilai 59,1 dengan ketuntasan belajar sebesar 28,5%, masih di bawah KKM 70. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah mengembangkan bahan ajar yang mampu mengintegrasikan pembelajaran berbasis masalah dengan media visual yang menarik dan kontekstual. Penelitian ini bertujuan mengembangkan, menguji kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan modul pembelajaran IPA berbasis *Problem Based Learning* (PBL) yang diintegrasikan dengan komik edukatif bertema siklus hujan untuk meningkatkan literasi sains peserta didik kelas VII. Penelitian menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Komik edukatif dikembangkan dengan bantuan teknologi kecerdasan buatan dan Canva. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan sangat valid dengan rata-rata kevalidan 90,5% dan sangat praktis dengan respons positif peserta didik sebesar 91,3%. Modul juga terbukti efektif meningkatkan literasi sains, ditunjukkan oleh N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,64, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,36. Perbedaan peningkatan literasi sains kedua kelas signifikan berdasarkan uji Mann-Whitney U ($p = 0,002$) dengan *effect size* besar (Cohen's $d = 0,94$). Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator mengidentifikasi isu ilmiah dengan N-Gain sebesar 0,69. Dengan demikian, modul PBL terintegrasi komik berbasis AI merupakan bahan ajar IPA yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan literasi sains peserta didik SMP.

Kata Kunci: modul pembelajaran; *Problem Based Learning*; komik edukatif; literasi sains; kecerdasan buatan

ABSTRACT

Science literacy is an important aspect of science learning, yet students continue to face challenges in developing this competency. This condition is reflected in the initial science literacy test results of seventh-grade students at SMPN 1 Klangenan, Cirebon Regency, which showed an average score of 59.1, with a mastery rate of only 28.5%, below the minimum mastery criterion of 70. One effort to address this issue is to develop teaching materials that integrate problem-based learning with engaging and contextual visual media. This study aimed to develop and examine the validity, practicality, and effectiveness of a Problem Based Learning (PBL) science module integrated with an educational comic on the rain cycle theme to improve the science literacy of seventh-grade students. The study employed a mixed-methods approach using the ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) development model. The educational comic was developed with the assistance of artificial intelligence technology and Canva. The results showed that the developed module was



highly valid, with an average validity score of 90.5%, and highly practical, with 91.3% positive student responses. The module was also effective in improving science literacy, as indicated by an N-Gain of 0.64 in the experimental class, higher than 0.36 in the control class. The difference in science literacy improvement was statistically significant based on the Mann-Whitney U test ($p = 0.002$), with a large effect size (Cohen's $d = 0.94$). The highest improvement occurred in the indicator of identifying scientific issues, with an N-Gain of 0.69. Thus, the AI-assisted, comic-integrated PBL module is a valid, practical, and effective science teaching material for improving junior high school students' science literacy.

Keywords: *learning module; Problem Based Learning; educational comic; science literacy; artificial intelligence*

PENDAHULUAN

Kemampuan literasi sains merupakan salah satu kompetensi esensial abad ke-21 yang berperan penting dalam membekali peserta didik untuk memahami fenomena alam, menginterpretasikan data ilmiah, dan mengaplikasikan konsep sains dalam kehidupan nyata. Penguatan literasi sains menjadi semakin penting seiring dengan tantangan capaian sains peserta didik Indonesia dalam asesmen internasional. Berdasarkan laporan *Programme for International Student Assessment (PISA)*, skor sains Indonesia mengalami penurunan dari 403 pada tahun 2015 menjadi 396 pada tahun 2018 dan 383 pada tahun 2022 (OECD, 2023). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penguatan pembelajaran IPA yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga mendorong peserta didik untuk berpikir kritis, memahami permasalahan ilmiah, dan menerapkan pengetahuan dalam konteks kehidupan sehari-hari. Pada tingkat nasional, data Rapor Pendidikan menunjukkan capaian literasi sains peserta didik SMP sebesar 54,1% pada tahun 2022 dan meningkat menjadi 55,6% pada tahun 2023 (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2023). Data tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan literasi sains masih menjadi tantangan yang perlu mendapat perhatian melalui inovasi pembelajaran dan pengembangan bahan ajar yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik.

Permasalahan literasi sains juga ditemukan di SMPN 1 Klagenan, Kabupaten Cirebon. Data Asesmen Nasional Sekolah tahun 2021–2023 menunjukkan capaian literasi sains berturut-turut sebesar 41,3%, 38,7%, dan 40,2%. Temuan tersebut diperkuat oleh hasil tes awal literasi sains yang dilakukan peneliti pada Januari 2025 terhadap peserta didik kelas VII, dengan rata-rata nilai 59,1 dari KKM 70 dan persentase ketuntasan sebesar 28,5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik belum mencapai kompetensi literasi sains yang diharapkan. Salah satu faktor yang berpotensi berkaitan dengan kondisi tersebut adalah keterbatasan bahan ajar yang digunakan dalam pembelajaran IPA. Bahan ajar yang didominasi bahasa teknis dan memiliki ilustrasi terbatas cenderung kurang mendukung kebutuhan peserta didik dalam memahami konsep secara visual dan kontekstual (Suparya et al., 2022; Yusmar & Fadilah, 2023). Selain itu, pembelajaran yang kurang melibatkan peserta didik secara aktif dalam proses penemuan konsep dapat membatasi kesempatan mereka untuk mengembangkan kemampuan menganalisis dan memecahkan masalah. Karakteristik peserta didik kelas VII yang berada pada fase remaja awal juga perlu menjadi pertimbangan dalam merancang pembelajaran yang adaptif, menarik, dan sesuai dengan perkembangan kognitif serta emosional mereka (Santrock, 2020).

Salah satu model pembelajaran yang relevan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *Problem Based Learning (PBL)*. Model PBL menempatkan masalah autentik sebagai titik awal pembelajaran sehingga peserta didik terdorong untuk mengidentifikasi permasalahan,



melakukan penyelidikan, menganalisis informasi, dan merumuskan solusi berdasarkan konsep yang dipelajari (Barrows & Tamblyn, 1980; Arends, 2012; Dolmans et al., 2021). Proses tersebut memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan menerapkan pengetahuan sains dalam situasi yang bermakna. Namun, penerapan PBL memerlukan dukungan bahan ajar yang mampu menyajikan permasalahan secara jelas, menarik, dan kontekstual agar peserta didik dapat memahami situasi masalah serta terlibat dalam proses penyelidikan secara optimal (Savery, 2020).

Komik edukatif dapat menjadi salah satu alternatif media yang mendukung penerapan PBL dalam pembelajaran IPA. Penyajian materi melalui perpaduan gambar, dialog, dan alur cerita memungkinkan konsep yang abstrak atau kompleks disampaikan secara lebih konkret dan mudah dipahami. Dalam pembelajaran IPA, komik edukatif juga dapat membantu menghubungkan konsep ilmiah dengan situasi kehidupan sehari-hari sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan media komik dapat mendukung pemahaman konsep peserta didik dan penerapan pembelajaran berbasis masalah (Putri et al., 2022; Saputri & Widodo, 2021). Meskipun demikian, penggunaan komik sebagai media pembelajaran perlu didukung oleh struktur pembelajaran yang sistematis agar tidak hanya berfungsi sebagai ilustrasi, tetapi juga berperan dalam mengarahkan peserta didik untuk memahami masalah, melakukan penyelidikan, dan mengembangkan kemampuan literasi sains.

Berdasarkan kajian tersebut, pengembangan modul pembelajaran IPA berbasis PBL yang terintegrasi dengan komik edukatif pada materi siklus hujan menjadi alternatif yang relevan untuk menjawab kebutuhan pembelajaran di SMPN 1 Klenganan. Materi siklus hujan memiliki keterkaitan erat dengan fenomena alam dan kehidupan sehari-hari sehingga dapat digunakan sebagai konteks untuk menyajikan masalah autentik dalam pembelajaran IPA. Modul yang dikembangkan dalam penelitian ini mengintegrasikan sintaks PBL, meliputi orientasi terhadap masalah, penyelidikan, penyajian solusi, dan evaluasi, ke dalam satu produk bahan ajar yang kohesif. Komik berfungsi sebagai penghantar masalah dan penjelas konsep melalui narasi visual, sedangkan modul menyediakan aktivitas pembelajaran yang mengarahkan peserta didik untuk mengembangkan literasi sains. Integrasi tersebut membedakan penelitian ini dari penelitian terdahulu yang umumnya menggunakan komik sebagai media pendamping atau menerapkan PBL tanpa integrasi komik secara langsung dalam modul pembelajaran (Saputri & Widodo, 2021; Sari & Setiawan, 2023).

Selain integrasi PBL dan komik, penelitian ini memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan dalam proses produksi media pembelajaran. Gemini AI digunakan untuk membantu penyusunan naskah dan pengembangan ilustrasi tokoh, sedangkan ChatGPT Image Generator dipadukan dengan Canva untuk menghasilkan dan menyusun komik dalam modul. Pemanfaatan teknologi tersebut menjadi bagian dari inovasi pengembangan bahan ajar yang menggabungkan pendekatan pembelajaran berbasis masalah, media visual, dan teknologi digital. Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan modul IPA berbasis PBL yang mengintegrasikan komik edukatif bertema siklus hujan serta pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan dalam produksi media pembelajaran untuk mendukung peningkatan literasi sains peserta didik SMP.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mendeskripsikan desain dan tingkat kevalidan modul pembelajaran IPA berbasis PBL terintegrasi komik pada materi siklus hujan untuk peserta didik kelas VII; (2) mendeskripsikan kepraktisan modul pembelajaran yang dikembangkan; dan (3) mengetahui keefektifan modul dalam meningkatkan kemampuan literasi sains peserta didik.



METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dalam kerangka penelitian dan pengembangan (*Research and Development/R&D*) dengan model *Sequential Explanatory Design*. Pengembangan produk menggunakan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) (Creswell & Plano Clark, 2022; Branch, 2020; Sugiyono, 2022). Penelitian dilaksanakan di SMPN 1 Klagenan, Kabupaten Cirebon, dengan subjek peserta didik kelas VII. Tahap *Analysis* dilakukan melalui observasi, wawancara, angket kebutuhan, dan tes awal literasi sains. Tahap *Design* dan *Development* menghasilkan modul IPA berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi komik edukatif bertema siklus hujan, yang dikembangkan menggunakan Gemini AI, ChatGPT Image Generator, dan Canva. Modul memuat tujuan pembelajaran, materi, komik, LKPD berbasis PBL, evaluasi, dan glosarium. Produk divalidasi oleh ahli materi, media, dan bahasa menggunakan skala Likert 1–5, sedangkan tahap *Implementation* meliputi uji coba terbatas, uji kepraktisan, dan uji keefektifan. Evaluasi dilakukan secara formatif dan sumatif melalui analisis data penelitian.

Uji coba terbatas melibatkan 15 peserta didik yang dipilih secara *purposive*, sedangkan uji kepraktisan melibatkan 30 peserta didik kelas eksperimen dan guru IPA. Uji keefektifan menggunakan desain kuasi eksperimen *pretest-posttest control group* dengan kelas VII G sebagai kelas eksperimen ($n=30$) dan VII F sebagai kelas kontrol ($n=30$). Instrumen penelitian berupa lembar validasi, angket kepraktisan, pedoman wawancara, dan tes literasi sains. Tes disusun berdasarkan tiga dimensi literasi sains PISA, yaitu mengidentifikasi isu ilmiah, menjelaskan fenomena ilmiah, dan menggunakan bukti ilmiah (OECD, 2021). Dari 50 soal yang diuji cobakan kepada 27 peserta didik di luar sampel, diperoleh 45 soal valid dan reliabilitas Cronbach's Alpha sebesar 0,946. Sebanyak 30 soal digunakan dalam pretest dan posttest.

Data kevalidan dan kepraktisan dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan persentase skor. Keefektifan modul dianalisis melalui N-Gain (Hake, 1999), uji normalitas Shapiro-Wilk, uji homogenitas Levene, dan uji Mann-Whitney U apabila data tidak memenuhi asumsi parametrik, dilengkapi perhitungan *effect size*. Data kualitatif dari observasi dan wawancara dianalisis menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldana (2020), meliputi reduksi data, penyajian data, dan penarikan simpulan. Seluruh data diintegrasikan untuk memperoleh kesimpulan mengenai kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan modul pembelajaran IPA yang dikembangkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Deskripsi Produk dan Validitas Instrumen

Produk yang dikembangkan berupa modul pembelajaran IPA berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi komik edukatif pada materi siklus hujan untuk peserta didik kelas VII. Modul memadukan tahapan pembelajaran berbasis masalah dengan komik yang diproduksi menggunakan teknologi kecerdasan buatan, yaitu Gemini AI dan ChatGPT Image Generator, serta Canva. Integrasi tersebut dirancang untuk menyajikan permasalahan kontekstual, membantu pemahaman konsep, dan mendukung aktivitas penyelidikan peserta didik.

Instrumen tes literasi sains yang diujicobakan kepada 27 peserta didik di luar sampel penelitian menghasilkan 45 dari 50 butir soal valid. Hasil uji reliabilitas menunjukkan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,946 yang termasuk kategori sangat tinggi. Dengan demikian,



instrumen dinyatakan layak digunakan untuk mengukur literasi sains peserta didik dalam penelitian.

Kevalidan Modul Pembelajaran

Modul pembelajaran divalidasi oleh tiga validator ahli, meliputi ahli materi, ahli media, dan ahli bahasa. Rekapitulasi hasil validasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Validasi Modul Pembelajaran

Validator	Skor (%)	Kategori
Ahli Materi	91,0	Sangat Valid
Ahli Media	90,0	Sangat Valid
Ahli Bahasa	90,6	Sangat Valid
Rata-rata Keseluruhan	90,5	Sangat Valid

Sumber: Hasil pengolahan data (2026)

Berdasarkan Tabel 1, modul memperoleh rata-rata skor validasi sebesar 90,5% dan termasuk kategori sangat valid. Hasil ini menunjukkan bahwa modul telah memenuhi kelayakan dari aspek materi, media, dan bahasa untuk digunakan dalam pembelajaran IPA. Skor tertinggi diperoleh dari ahli materi sebesar 91,0%, diikuti ahli bahasa sebesar 90,6% dan ahli media sebesar 90,0%.

Validator ahli materi menilai bahwa modul telah disusun secara sistematis, kontekstual, dan menarik, dengan saran penambahan penjelasan istilah teknis serta contoh kasus lokal. Ahli media menilai tampilan visual komik dan integrasinya dengan pembelajaran sudah baik, dengan saran perbaikan keterbacaan teks pada panel yang padat. Sementara itu, ahli bahasa menilai penggunaan bahasa sudah lugas dan komunikatif, disertai saran perbaikan minor pada sampul dan tata letak. Seluruh saran validator telah ditindaklanjuti melalui revisi produk sebelum tahap implementasi. Tingkat validitas sebesar 90,5% menunjukkan bahwa modul PBL terintegrasi komik telah memenuhi kelayakan isi, tampilan, dan bahasa. Hal ini menjadi dasar bahwa produk layak digunakan untuk menguji kepraktisan dan keefektifannya dalam pembelajaran IPA.

Kepraktisan Modul Pembelajaran

Uji kepraktisan dilakukan terhadap 30 peserta didik kelas eksperimen (VII G) menggunakan angket respons yang terdiri atas 15 butir pernyataan. Hasil analisis menunjukkan rata-rata respons positif sebesar 91,3% yang termasuk kategori sangat praktis. Rincian respons peserta didik disajikan sebagai berikut.

Tabel 2. Rincian Respons Peserta Didik

Aspek Penilaian	Respons Positif (%)
Kemudahan penggunaan modul	94,0
Ketertarikan terhadap komik edukatif	96,7
Kejelasan materi dan petunjuk LKPD	88,0
Kesesuaian dengan kebutuhan belajar	86,7
Rata-rata	91,3

Sumber: Hasil pengolahan data (2026)

Aspek ketertarikan terhadap komik edukatif memperoleh respons positif tertinggi sebesar 96,7%, sedangkan aspek kemudahan penggunaan modul mencapai 94,0%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penyajian materi melalui komik menjadi salah satu bagian yang paling menarik bagi peserta didik. Kejelasan materi dan petunjuk LKPD memperoleh respons sebesar 88,0%, sedangkan kesesuaian dengan kebutuhan belajar sebesar 86,7%. Meskipun



kedua aspek tersebut memiliki persentase lebih rendah, keduanya tetap berada dalam kategori sangat praktis.

Hasil wawancara dengan guru IPA memperkuat temuan kuantitatif tersebut. Guru menyatakan bahwa modul mudah digunakan, sesuai dengan Kurikulum Merdeka, dan membantu meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik dalam kegiatan penyelidikan berbasis PBL. Komik edukatif juga dinilai memudahkan guru dalam mengelola kegiatan pembelajaran dan menyampaikan konsep siklus hujan secara lebih kontekstual. Respons positif sebesar 91,3% menunjukkan bahwa modul tidak hanya layak secara teoritis, tetapi juga mudah digunakan dan menarik bagi peserta didik. Tingginya ketertarikan terhadap komik edukatif memperlihatkan bahwa integrasi media visual menjadi salah satu aspek pendukung kepraktisan modul dalam pembelajaran IPA.

Keefektifan Modul terhadap Literasi Sains

Keefektifan modul dianalisis berdasarkan peningkatan kemampuan literasi sains peserta didik melalui nilai pretest, posttest, dan N-Gain pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Deskripsi Pretest, Posttest, dan N-Gain Literasi Sains

Kelas	Pretest	Posttest	N-Gain	Kategori
Eksperimen (VII G, n=30)	41,78	79,78	0,64	Sedang
Kontrol (VII F, n=30)	40,11	60,44	0,36	Sedang

Sumber: Hasil pengolahan data (2026)

Berdasarkan Tabel 3, rata-rata nilai pretest kelas eksperimen sebesar 41,78 dan meningkat menjadi 79,78 pada posttest. Sementara itu, kelas kontrol mengalami peningkatan dari rata-rata pretest 40,11 menjadi 60,44 pada posttest. Nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,64 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,36. Kedua kelas berada pada kategori sedang, tetapi peningkatan pada kelas eksperimen menunjukkan hasil yang lebih besar.

Perbedaan peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan modul PBL terintegrasi komik memberikan kontribusi terhadap peningkatan literasi sains peserta didik. Modul tidak hanya membantu peserta didik memahami materi siklus hujan, tetapi juga memberikan pengalaman belajar melalui masalah kontekstual, penyelidikan, dan aktivitas berbasis bukti ilmiah.

Distribusi kategori N-Gain menunjukkan bahwa 60,0% peserta didik kelas eksperimen mencapai kategori tinggi, sedangkan pada kelas kontrol hanya 23,3%. Tidak terdapat peserta didik kelas eksperimen yang berada pada kategori rendah, sementara kelas kontrol masih menunjukkan 23,3% peserta didik dalam kategori rendah.

Hasil uji prasyarat menunjukkan bahwa data posttest kedua kelompok tidak berdistribusi normal (Shapiro-Wilk, $p = 0,001$) dan tidak homogen (Levene, $p = 0,000$). Oleh karena itu, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan Mann-Whitney U. Hasil analisis menunjukkan mean rank kelas eksperimen sebesar 37,42, lebih tinggi daripada kelas kontrol sebesar 23,58. Nilai U sebesar 242,50 dengan Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,002 ($p < 0,05$), sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok. Nilai effect size r sebesar 0,40 termasuk kategori sedang, sedangkan Cohen's d sebesar 0,94 termasuk kategori besar. Modul PBL terintegrasi komik menghasilkan peningkatan literasi sains yang lebih tinggi dibandingkan pembelajaran pada kelas kontrol. Perbedaan yang signifikan secara statistik dan nilai effect size yang besar menunjukkan bahwa modul memiliki kontribusi penting dalam meningkatkan kemampuan literasi sains peserta didik.



Peningkatan Literasi Sains Berdasarkan Indikator

Analisis peningkatan literasi sains dilakukan berdasarkan tiga indikator dalam kerangka PISA, yaitu mengidentifikasi isu ilmiah, menjelaskan fenomena ilmiah, dan menggunakan bukti ilmiah. Hasil analisis N-Gain setiap indikator disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. N-Gain per Indikator Literasi Sains

Indikator	Pre Eksperimen (%)	Post Eksperimen (%)	N-Gain Eksperimen	N-Gain Kontrol
Mengidentifikasi isu ilmiah	44,44	82,78	0,69	0,29
Menjelaskan fenomena ilmiah	43,64	78,48	0,58	0,19
Menggunakan bukti ilmiah	38,46	78,72	0,64	0,44
Total Keseluruhan	41,56	79,44	0,63	0,32

Sumber: Hasil pengolahan data (2026)

Berdasarkan Tabel 4, seluruh indikator literasi sains mengalami peningkatan pada kelas eksperimen. Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator mengidentifikasi isu ilmiah dengan N-Gain sebesar 0,69, meningkat dari skor awal 44,44% menjadi 82,78%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul membantu peserta didik mengenali dan memahami permasalahan ilmiah yang disajikan melalui komik dan aktivitas PBL.

Indikator menggunakan bukti ilmiah menempati posisi kedua dengan N-Gain sebesar 0,64, sedangkan indikator menjelaskan fenomena ilmiah memperoleh N-Gain sebesar 0,58. Ketiga indikator tersebut memiliki nilai N-Gain lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, masing-masing sebesar 0,29, 0,19, dan 0,44. Peningkatan tertinggi pada indikator mengidentifikasi isu ilmiah menunjukkan bahwa modul PBL terintegrasi komik paling menonjol dalam membantu peserta didik memahami dan mengenali permasalahan sains. Sementara itu, peningkatan pada indikator menggunakan bukti ilmiah dan menjelaskan fenomena ilmiah menunjukkan bahwa modul juga mendukung kemampuan peserta didik dalam menghubungkan konsep dengan bukti serta menjelaskan fenomena berdasarkan pengetahuan ilmiah.

Pembahasan

Kevalidan Modul Pembelajaran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul pembelajaran IPA berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi komik memperoleh rata-rata kevalidan sebesar 90,5% dan termasuk kategori sangat valid. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul telah memenuhi aspek kelayakan materi, media, dan bahasa sehingga dapat digunakan sebagai bahan ajar dalam pembelajaran IPA. Pengembangan modul melalui model ADDIE memungkinkan produk dirancang secara sistematis mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, implementasi, hingga evaluasi sehingga setiap tahap dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas produk (Branch, 2020). Proses pengembangan yang sistematis juga sesuai dengan prinsip penelitian dan pengembangan yang menekankan keterkaitan antara kebutuhan pengguna, desain produk, validasi, dan revisi sebelum produk diterapkan (Sugiyono, 2022).



Kevalidan aspek materi sebesar 91,0% menunjukkan bahwa isi modul telah sesuai dengan tujuan pembelajaran dan karakteristik materi siklus hujan. Integrasi PBL memberikan struktur pembelajaran yang menempatkan permasalahan sebagai titik awal sehingga peserta didik tidak hanya menerima informasi, tetapi diarahkan untuk mengidentifikasi masalah, melakukan penyelidikan, dan membangun solusi. Karakteristik tersebut sesuai dengan prinsip PBL yang menekankan penggunaan masalah sebagai konteks untuk memperoleh pengetahuan dan mengembangkan keterampilan pemecahan masalah (Barrows & Tamblyn, 1980; Savery, 2006). Dalam prosesnya, pembelajaran berbasis masalah dapat mendorong peserta didik melakukan pembelajaran secara lebih mendalam ketika mereka terlibat aktif dalam proses pencarian dan pengolahan informasi (Dolmans et al., 2016).

Kevalidan media sebesar 90,0% menunjukkan bahwa integrasi komik dalam modul dapat diterima dari aspek visual dan penyajian. Komik membantu menyajikan konsep siklus hujan melalui kombinasi gambar, teks, dan alur cerita sehingga fenomena yang dipelajari lebih mudah dikaitkan dengan situasi konkret. Temuan ini sejalan dengan penelitian pengembangan komik pembelajaran yang menunjukkan bahwa penyajian materi melalui komik dapat membuat pembelajaran lebih menarik dan mendukung hasil belajar peserta didik (Roswati et al., 2019; Sari & Harahap, 2021). Dari perspektif pembelajaran multimedia, penggunaan kombinasi representasi visual dan verbal juga dapat membantu peserta didik membangun pemahaman melalui pengolahan informasi dari lebih dari satu bentuk representasi (Mayer, 2021).

Kevalidan bahasa sebesar 90,6% menunjukkan bahwa bahasa dalam modul dinilai lugas, komunikatif, dan sesuai dengan karakteristik peserta didik kelas VII. Hal ini penting karena peserta didik pada jenjang SMP berada pada masa perkembangan remaja yang ditandai dengan perubahan kemampuan kognitif dan kebutuhan terhadap bentuk pembelajaran yang sesuai dengan perkembangan mereka (Santrock, 2020). Dengan demikian, tingginya tingkat kevalidan modul tidak hanya menunjukkan kesesuaian isi, tetapi juga menunjukkan bahwa struktur visual, bahasa, dan aktivitas pembelajaran telah dirancang secara terpadu.

Kepraktisan Modul Pembelajaran

Modul memperoleh respons positif sebesar 91,3% sehingga termasuk kategori sangat praktis. Aspek ketertarikan terhadap komik memperoleh persentase tertinggi, yaitu 96,7%, sedangkan kemudahan penggunaan modul mencapai 94,0%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa komik menjadi salah satu komponen yang paling menarik perhatian peserta didik sekaligus mendukung kemudahan mereka dalam mengikuti pembelajaran. Hasil ini sejalan dengan penelitian Roswati et al. (2019) dan Sari dan Harahap (2021) yang menunjukkan bahwa penggunaan komik sebagai media pembelajaran dapat meningkatkan daya tarik pembelajaran dan membantu peserta didik memahami materi.

Kepraktisan modul juga dapat dijelaskan melalui struktur PBL yang memberikan tahapan aktivitas secara terarah. Peserta didik tidak hanya diberikan materi, tetapi memperoleh petunjuk untuk memahami masalah, melakukan penyelidikan, dan menyusun solusi. Dalam PBL, fasilitasi yang terstruktur diperlukan agar peserta didik dapat menjalankan proses pembelajaran secara mandiri tetapi tetap berada dalam arah pembelajaran yang sesuai dengan tujuan (Hmelo-Silver & Barrows, 2006). Dengan demikian, keberadaan LKPD dan tahapan PBL dalam modul dapat membantu mengurangi kebingungan peserta didik ketika mengikuti aktivitas penyelidikan.

Hasil wawancara dengan guru juga menunjukkan bahwa modul mudah digunakan dan mendukung pengelolaan pembelajaran. Hal tersebut menunjukkan bahwa kepraktisan produk tidak hanya terlihat dari respons peserta didik, tetapi juga dari perspektif guru sebagai pengguna



dalam pelaksanaan pembelajaran. Kesesuaian modul dengan arah pembelajaran dalam Kurikulum Merdeka juga mendukung penggunaannya sebagai bahan ajar yang memberikan ruang bagi peserta didik untuk lebih aktif dalam proses belajar (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2022).

Meskipun demikian, kepraktisan yang tinggi tidak berarti bahwa modul dapat digunakan tanpa penyesuaian pada seluruh kondisi pembelajaran. Kemampuan peserta didik dalam belajar secara mandiri, kemampuan memahami instruksi, keterampilan menggunakan media visual, serta kemampuan guru dalam memfasilitasi PBL dapat memengaruhi pengalaman penggunaan modul. Karakteristik *self-directed learning* dan keterampilan abad ke-21 juga berkaitan dengan kesiapan peserta didik dalam mengikuti pembelajaran yang menuntut aktivitas dan tanggung jawab lebih besar (Karatas & Arpaci, 2021). Oleh karena itu, penggunaan modul tetap membutuhkan pendampingan guru, terutama pada tahap awal penerapan PBL.

Keefektifan Modul terhadap Literasi Sains

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata N-Gain literasi sains kelas eksperimen sebesar 0,64, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,36. Perbedaan tersebut diperkuat oleh hasil uji Mann-Whitney U yang menunjukkan nilai signifikansi 0,002 ($p < 0,05$), serta Cohen's d sebesar 0,94. Temuan tersebut menunjukkan adanya perbedaan peningkatan literasi sains antara peserta didik yang menggunakan modul PBL terintegrasi komik dan peserta didik yang mengikuti pembelajaran pada kelas kontrol. Besarnya *effect size* juga menunjukkan bahwa perbedaan hasil tersebut memiliki ukuran efek yang besar berdasarkan interpretasi Cohen (1988).

Peningkatan tersebut dapat dijelaskan dari karakteristik PBL yang memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk belajar melalui masalah autentik. Dalam pembelajaran PBL, masalah digunakan sebagai pemicu aktivitas belajar sehingga peserta didik terdorong mencari informasi, menghubungkan konsep, melakukan penyelidikan, dan merumuskan solusi (Barrows & Tamblyn, 1980; Savery, 2006). Proses tersebut memungkinkan peserta didik mengonstruksi pengetahuan melalui pengalaman belajar yang aktif. Dolmans et al. (2016) juga menjelaskan bahwa PBL dapat mendukung pembelajaran yang lebih mendalam ketika peserta didik terlibat dalam proses pengolahan informasi dan pemecahan masalah.

Komik dalam modul memberikan dukungan tambahan terhadap proses tersebut. Materi siklus hujan yang memiliki rangkaian proses dan fenomena yang saling berkaitan disajikan melalui ilustrasi dan narasi sehingga peserta didik memperoleh representasi visual yang lebih konkret. Prinsip pembelajaran multimedia menjelaskan bahwa informasi dapat diproses melalui saluran verbal dan visual, sehingga kombinasi kata dan gambar yang dirancang secara tepat dapat mendukung pemahaman peserta didik (Mayer, 2021). Temuan penelitian tentang pengembangan komik pembelajaran juga menunjukkan bahwa komik dapat digunakan untuk membuat materi sains lebih menarik sekaligus membantu peserta didik memahami konsep (Roswati et al., 2019; Sari & Harahap, 2021).

Konteks masalah yang digunakan dalam komik, seperti fenomena banjir dan kekeringan, turut memberikan hubungan antara materi siklus hujan dengan kehidupan sehari-hari. Konteks tersebut penting dalam pembelajaran literasi sains karena peserta didik tidak hanya diarahkan untuk mengingat konsep, tetapi juga menggunakannya dalam memahami fenomena yang mereka temui. Hal ini sejalan dengan karakteristik literasi sains dalam kerangka PISA yang menekankan penggunaan pengetahuan ilmiah untuk memahami dan merespons permasalahan yang berkaitan dengan sains (OECD, 2023).



Namun, peningkatan literasi sains tidak semata-mata dapat dikaitkan dengan keberadaan komik. Peningkatan tersebut merupakan hasil dari kombinasi beberapa komponen dalam modul, yaitu sintaks PBL, penyajian materi, komik, LKPD, aktivitas penyelidikan, dan evaluasi. Dengan demikian, kontribusi modul lebih tepat dipahami sebagai hasil integrasi berbagai komponen pembelajaran daripada pengaruh satu unsur secara terpisah.

Peningkatan Literasi Sains pada Setiap Indikator

Analisis berdasarkan indikator menunjukkan bahwa peningkatan tertinggi pada kelas eksperimen terjadi pada kemampuan mengidentifikasi isu ilmiah dengan N-Gain sebesar 0,69. Hasil tersebut dapat dikaitkan dengan penggunaan komik sebagai pengantar masalah. Alur cerita dan ilustrasi memungkinkan peserta didik melihat situasi permasalahan secara lebih konkret sehingga mereka dapat mengenali fenomena dan menentukan persoalan ilmiah yang perlu dikaji. Penyajian visual semacam ini relevan dengan karakteristik media komik yang menggabungkan informasi verbal dan visual dalam satu rangkaian cerita (Roswati et al., 2019; Mayer, 2021).

Indikator menggunakan bukti ilmiah memperoleh N-Gain sebesar 0,64. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa aktivitas PBL dalam modul memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menggunakan informasi dan data yang tersedia dalam proses penyelidikan. Tahapan tersebut sesuai dengan karakteristik PBL yang menuntut peserta didik mengumpulkan, mengolah, dan menggunakan informasi untuk membangun solusi terhadap permasalahan (Hmelo-Silver & Barrows, 2006). Kemampuan menggunakan bukti juga merupakan bagian penting dalam literasi sains karena peserta didik perlu menghubungkan informasi dengan penjelasan atau kesimpulan yang didasarkan pada bukti ilmiah (OECD, 2023).

Sementara itu, indikator menjelaskan fenomena ilmiah memperoleh N-Gain sebesar 0,58. Meskipun peningkatannya tetap berada pada kategori sedang, nilainya lebih rendah dibandingkan dua indikator lainnya. Kondisi tersebut dapat menunjukkan bahwa kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah membutuhkan proses penalaran yang lebih kompleks. Peserta didik tidak hanya perlu mengenali masalah atau menemukan bukti, tetapi juga harus menghubungkan konsep dan bukti untuk menghasilkan penjelasan yang runtut. Oleh karena itu, aktivitas lanjutan berupa pertanyaan reflektif, penyusunan penjelasan dengan bahasa sendiri, dan diskusi berbasis bukti dapat lebih diperkuat pada pengembangan modul berikutnya.

Secara keseluruhan, pola peningkatan ketiga indikator memperlihatkan bahwa modul memberikan dukungan terhadap berbagai aspek literasi sains, meskipun tingkat peningkatannya tidak sama. Temuan tersebut juga memperkuat pentingnya pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengidentifikasi masalah, menggunakan bukti, dan menjelaskan fenomena secara ilmiah. Pendekatan semacam ini sejalan dengan kebutuhan penguatan literasi sains yang masih menjadi tantangan dalam pendidikan Indonesia (Suparya et al., 2022; Yusmar & Fadilah, 2023).

Faktor yang Memengaruhi Peningkatan Literasi Sains

Peningkatan literasi sains pada kelas eksperimen kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan. Pertama, karakteristik PBL memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk terlibat aktif dalam proses pembelajaran. Kedua, komik menyediakan representasi visual yang membantu peserta didik memahami masalah dan konsep. Ketiga, materi siklus hujan dikaitkan dengan fenomena yang dekat dengan kehidupan peserta didik sehingga memberikan konteks yang bermakna. Keempat, LKPD memberikan struktur aktivitas yang membantu peserta didik mengikuti tahapan penyelidikan secara sistematis.



Faktor kesiapan peserta didik juga perlu dipertimbangkan. Pembelajaran PBL menuntut peserta didik untuk lebih aktif, mampu mencari informasi, berdiskusi, dan mengambil tanggung jawab terhadap proses belajarnya. Perbedaan kemampuan awal, kemandirian belajar, keterampilan metakognitif, dan keterampilan abad ke-21 dapat memengaruhi kemampuan peserta didik dalam memanfaatkan modul secara optimal (Karatas & Arpaci, 2021). Oleh sebab itu, peningkatan yang diperoleh tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas produk, tetapi juga oleh karakteristik peserta didik dan proses implementasinya.

Faktor guru juga memiliki peran penting. Dalam PBL, guru berfungsi sebagai fasilitator yang mengarahkan proses penyelidikan dan memberikan bantuan ketika peserta didik mengalami kesulitan (Hmelo-Silver & Barrows, 2006). Dengan demikian, modul yang baik tetap membutuhkan fasilitasi guru agar sintaks PBL dapat berlangsung sesuai tujuan. Perbedaan intensitas pendampingan, pengelolaan kelas, dan pengalaman guru dalam menerapkan PBL dapat menjadi faktor yang memengaruhi hasil pembelajaran.

Keterbatasan Penggunaan Modul

Meskipun hasil penelitian menunjukkan bahwa modul valid, praktis, dan efektif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, uji efektivitas dilakukan pada dua kelas dengan jumlah peserta didik yang relatif terbatas, yaitu 30 peserta didik pada masing-masing kelompok, sehingga hasil penelitian perlu ditafsirkan sesuai dengan karakteristik subjek dan konteks sekolah tempat penelitian dilakukan. Dalam penelitian pendidikan, karakteristik sampel, konteks pembelajaran, dan kondisi implementasi dapat memengaruhi keterterapan hasil pada konteks yang berbeda (Fraenkel et al., 2023).

Kedua, penggunaan modul terintegrasi komik membutuhkan waktu pembelajaran yang relatif lebih terstruktur karena peserta didik perlu membaca alur cerita, memahami masalah, melakukan penyelidikan, dan menyelesaikan aktivitas LKPD. Apabila alokasi waktu pembelajaran terbatas, tidak seluruh aktivitas PBL dapat terlaksana secara optimal. Hal ini menjadi pertimbangan penting dalam penerapan modul di kelas dengan kondisi waktu dan beban pembelajaran yang berbeda.

Ketiga, penggunaan komik berbasis teknologi kecerdasan buatan masih memiliki keterbatasan pada konsistensi visual, keterbacaan teks pada panel tertentu, dan kebutuhan penyuntingan oleh pengembang. Oleh karena itu, penggunaan AI dalam pengembangan bahan ajar tidak dapat sepenuhnya menggantikan proses validasi dan penyuntingan manusia. Produk tetap memerlukan pemeriksaan isi, bahasa, kesesuaian ilustrasi, serta keterkaitannya dengan tujuan pembelajaran sebelum digunakan.

Keempat, penelitian ini lebih menekankan peningkatan literasi sains setelah implementasi modul sehingga belum menggambarkan secara mendalam dampak penggunaan modul dalam jangka panjang. Pengukuran *pretest-posttest* dapat menunjukkan perubahan kemampuan dalam periode penelitian, tetapi belum cukup untuk menjelaskan retensi kemampuan literasi sains setelah peserta didik tidak lagi menggunakan modul. Oleh karena itu, penelitian berikutnya dapat mempertimbangkan pengukuran tindak lanjut untuk mengetahui keberlanjutan hasil belajar.

Kelima, karena modul menggabungkan beberapa komponen sekaligus, penelitian ini belum dapat menentukan secara terpisah seberapa besar kontribusi PBL, komik, atau penggunaan AI terhadap peningkatan literasi sains. Temuan penelitian lebih tepat diinterpretasikan sebagai efektivitas produk secara keseluruhan. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan desain yang memungkinkan perbandingan antarperlakuan untuk mengidentifikasi kontribusi masing-masing komponen.



Implikasi Pembelajaran

Hasil penelitian memberikan implikasi bahwa pengembangan bahan ajar IPA dapat diarahkan pada integrasi model pembelajaran, media visual, dan aktivitas penyelidikan dalam satu produk. Modul PBL terintegrasi komik tidak hanya berfungsi sebagai sumber materi, tetapi juga sebagai panduan aktivitas yang mengarahkan peserta didik untuk berinteraksi dengan masalah, mencari informasi, menggunakan bukti, dan menyusun penjelasan. Pendekatan tersebut sejalan dengan kebutuhan pembelajaran yang menempatkan peserta didik sebagai subjek aktif dalam proses pembelajaran (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2022).

Dari sisi pengembangan bahan ajar, penggunaan komik dapat menjadi alternatif untuk membuat materi IPA lebih kontekstual dan menarik, terutama pada materi yang memiliki rangkaian proses atau fenomena yang dapat divisualisasikan. Namun, pengembangan media tetap perlu memperhatikan prinsip desain multimedia agar visual tidak sekadar menjadi dekorasi, tetapi benar-benar membantu proses pemahaman (Mayer, 2021). Penggunaan teknologi kecerdasan buatan juga dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu produksi, tetapi tetap membutuhkan validasi ahli dan penyuntingan agar produk memenuhi standar pedagogis.

Secara metodologis, penggunaan pendekatan *mixed methods* memungkinkan hasil kuantitatif mengenai peningkatan literasi sains diperkaya dengan informasi kualitatif mengenai pengalaman peserta didik dan guru selama penggunaan modul. Integrasi kedua jenis data tersebut dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai proses dan hasil implementasi produk (Creswell & Plano Clark, 2022; Creswell & Poth, 2023). Data kualitatif yang diperoleh dari observasi dan wawancara juga dapat dianalisis melalui tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan sehingga dapat digunakan untuk memahami faktor yang mendukung maupun menghambat implementasi produk (Miles et al., 2020).

Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa modul pembelajaran IPA berbasis PBL terintegrasi komik dapat menjadi salah satu alternatif bahan ajar untuk mendukung peningkatan literasi sains peserta didik. Keunggulan produk terutama terlihat pada tingkat kevalidan dan kepraktisan yang tinggi serta peningkatan literasi sains yang lebih besar pada kelas eksperimen. Namun, hasil tersebut tetap perlu dipahami dalam konteks karakteristik peserta didik, guru, waktu pembelajaran, dan lingkungan sekolah tempat modul diimplementasikan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa modul pembelajaran IPA berbasis *Problem Based Learning* terintegrasi komik edukatif berbantuan kecerdasan buatan pada materi siklus hujan dinyatakan sangat valid dengan rata-rata kevalidan 90,5% dan sangat praktis dengan respons positif peserta didik sebesar 91,3%. Hasil validasi meliputi aspek materi sebesar 91%, media 90%, dan bahasa 90,6%, sedangkan kepraktisan ditunjukkan oleh kemudahan penggunaan dan ketertarikan peserta didik terhadap modul.

Modul juga dinyatakan efektif dalam meningkatkan literasi sains peserta didik. Hal ini ditunjukkan oleh N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,64, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,36, dengan hasil uji Mann-Whitney U sebesar $p = 0,002$ dan *effect size* Cohen's $d = 0,94$. Peningkatan terjadi pada ketiga indikator literasi sains PISA, dengan peningkatan tertinggi pada kemampuan mengidentifikasi isu ilmiah. Dengan demikian, modul



yang dikembangkan dapat digunakan sebagai alternatif bahan ajar IPA untuk mendukung pembelajaran berbasis masalah dan penguatan literasi sains peserta didik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arends, R. I. (2012). *Learning to teach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer.
- Branch, R. M. (2020). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2022). *Designing and conducting mixed methods research* (4th ed.). SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2023). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dolmans, D. H. J. M., Loyens, S. M. M., Marcq, H., & Gijbels, D. (2016). Deep and surface learning in problem-based learning: A review of the literature. *Advances in Health Sciences Education*, 21(5), 1087–1112. <https://doi.org/10.1007/s10459-015-9645-6>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2023). *How to design and evaluate research in education* (11th ed.). McGraw-Hill.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hmelo-Silver, C. E., & Barrows, H. S. (2006). Goals and strategies of a problem-based learning facilitator. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 21–39. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1004>
- Karatas, K., & Arpaci, I. (2021). The role of self-directed learning, metacognition, and 21st century skills predicting the readiness for online learning. *Contemporary Educational Technology*, 13(3), ep300. <https://doi.org/10.30935/cedtech/10786>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Panduan pembelajaran dan asesmen Kurikulum Merdeka*. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan, Kemendikbudristek. <https://kspstendik.dikdasmen.go.id/panduan/detail/11>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2023). *Rapor pendidikan Indonesia 2023*. Kemendikbudristek.
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316941355>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (4th ed.). SAGE Publications.
- OECD. (2023). *PISA 2022 assessment and analytical framework*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/dfe0bf9c-en>
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Roswati, N., Rustaman, N. Y., & Nugraha, I. (2019). The development of science comic in human digestive system topic for junior high school students. *Journal of Science Learning*, 3(1), 12–18. <https://doi.org/10.17509/jsl.v3i1.18120>



- Santrock, J. W. (2020). *Adolescence* (17th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sari, S. A., & Harahap, N. F. A. (2021). Development of comic based learning on reaction rate for learning to be more interesting and improving student's learning outcomes. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(1), 151–167. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v9i1.18852>
- Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9–20. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Suparya, I. K., Suastra, I. W., & Arnyana, I. B. P. (2022). Rendahnya literasi sains: Faktor penyebab dan alternatif solusinya. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti*, 9(1), 153–166. <https://doi.org/10.38048/jipcb.v9i1.580>
- Yusmar, F., & Fadilah, R. E. (2023). Analisis rendahnya literasi sains peserta didik Indonesia: Hasil PISA dan faktor penyebab. *LENSA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA*, 13(1), 11–19. <https://doi.org/10.24929/lensa.v13i1.283>