



Pengembangan Bahan Ajar Digital Berbasis *Project Based Learning* (PjBL) untuk Meningkatkan Literasi Sains Siswa Kelas X SMA pada Materi Energi Terbarukan

Zahrotun Nafahah✉, Fifi Dewi Ratnasari

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Juni 2025

Disetujui Agustus 2025

Dipublikasikan Agustus 2025

Keywords: Digital Teaching Material, Project Based Learning, Renewable Energy, Scientific Literacy

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan ajar digital berbasis *Project Based Learning* (PjBL) dan menguji efektivitasnya dalam meningkatkan literasi sains siswa kelas X SMA pada materi energi terbarukan. Fokus penelitian mencakup tahapan pengembangan, karakteristik bahan ajar, tingkat kelayakan, kepraktisan, dan efektivitas bahan ajar dalam meningkatkan literasi sains. Desain penelitian menggunakan model *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Uji coba lapangan dilakukan di SMA Negeri 3 Semarang dengan melibatkan dua kelas, yaitu kelas eksperimen (X-3, 34 siswa) dan kelas kontrol (X-1, 34 siswa). Teknik pengumpulan data dilakukan melalui lembar validasi ahli, angket kepraktisan siswa, serta tes literasi sains berupa pretest dan posttest. Data dianalisis secara kuantitatif menggunakan perhitungan persentase, N-Gain, dan uji statistik *paired t-test*. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pengembangan bahan ajar digital berbasis PjBL yang dikemas melalui platform Book Creator, memungkinkan siswa belajar secara mandiri maupun kolaboratif dalam konteks proyek nyata. Validitas bahan ajar diuji oleh ahli media dan materi, sedangkan efektivitasnya dianalisis menggunakan uji statistik *paired t-test*. Hasil validasi menunjukkan bahan ajar sangat layak dengan skor rata-rata: kelayakan isi 86,66%, penyajian 91,11%, bahasa 80,55%, kegrafisan 90,47%, dan literasi sains 88,45%. Uji kepraktisan oleh siswa menunjukkan skor rata-rata 78,01% (kategori praktis). Hasil uji efektivitas menunjukkan adanya peningkatan signifikan dengan nilai N-Gain 70,02% pada kelas eksperimen (kategori sedang) dan uji *paired t-test* menunjukkan $t = 17,686$ dengan $p < 0,001$. Dengan demikian, bahan ajar digital berbasis PjBL ini dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan literasi sains siswa pada materi energi terbarukan.

Abstract

This study aims to develop digital teaching materials based on Project Based Learning (PjBL) and examine their effectiveness in improving the scientific literacy of Grade X high school students on the topic of renewable energy. The focus of the research includes development stages, characteristics of the teaching material, its feasibility, practicality, and effectiveness in enhancing scientific literacy. The research employed a Research and Development (R&D) design using the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Field trials were conducted at SMA Negeri 3 Semarang involving two classes: the experimental class (X-3, 34 students) and the control class (X-1, 34 students). Data were collected through expert validation sheets, student practicality questionnaires, and scientific literacy tests in the form of pretests and posttests. The data were analyzed quantitatively using percentage calculations, N-Gain, and paired t-tests with the help of SPSS software. The novelty of this study lies in the development of digital teaching materials based on PjBL packaged through the Book Creator platform, allowing students to learn independently or collaboratively in real project contexts. The validity of the teaching material was assessed by media and content experts, while its effectiveness was analyzed using a paired t-test. The validation results indicated that the material is highly feasible, with average scores as follows: content feasibility 86.66%, presentation 91.11%, language 80.55%, graphic design 90.47%, and scientific literacy 88.45%. Student assessments of practicality yielded an average score of 78.01% (categorized as practical). Effectiveness testing showed a significant improvement, with an N-Gain of 70.02% in the experimental class (moderate category), and the paired t-test showed $t = 17.686$ with $p < 0.001$. Therefore, the PjBL-based digital teaching material is considered valid, practical, and effective in improving students' scientific literacy on the topic of renewable energy.

PENDAHULUAN

Kebijakan pendidikan sains saat ini menekankan pentingnya literasi sains sebagai capaian pembelajaran yang dapat diterapkan dalam berbagai konteks kehidupan. Literasi sains berfokus pada pengembangan kemampuan siswa dalam memahami dan menggunakan konsep-konsep sains secara bermakna, berpikir kritis, serta membuat keputusan yang seimbang dan tepat terkait isu-isu yang relevan dengan kehidupan sehari-hari (Utamirohmahsari, 2024). Literasi sains sangat penting karena membantu individu memahami lingkungan serta berbagai masalah modern yang dipengaruhi oleh sains, teknologi, dan isu sosial. Economic Co-operation and Development (OECD) (2013) menyatakan bahwa literasi sains penting dalam kehidupan sehari-hari, terutama untuk menghadapi berbagai tantangan abad ke-21, seperti pemenuhan kebutuhan air dan pangan, pengendalian penyakit, penyediaan energi yang memadai, serta penanganan perubahan iklim. Literasi sains perlu ditanamkan sejak dini karena menjadi bekal penting dalam kehidupan masyarakat modern yang semakin kompleks. Penelitian Pujiarti (2019) menunjukkan bahwa reformasi pendidikan sains di Indonesia perlu diarahkan untuk membekali siswa dengan kemampuan berpikir kritis, memahami isu-isu global, serta mampu mengambil keputusan berbasis sains. Dengan demikian, meningkatkan literasi sains bukan sekadar tuntutan kurikulum, tetapi merupakan kebutuhan nyata dalam menyiapkan generasi yang mampu menghadapi tantangan abad ke-21.

Tingkat literasi sains yang rendah menunjukkan bahwa pendidikan kita belum sepenuhnya membekali siswa dengan kemampuan yang dibutuhkan dalam kehidupan nyata. Pendidikan tidak hanya harus menekankan aspek kognitif, tetapi juga perlu melibatkan siswa dalam proses ilmiah, melatih berpikir kritis, serta membiasakan mereka memecahkan masalah sehari-hari. Pursitasari (2019) menegaskan bahwa literasi sains yang rendah menjadi bahan evaluasi penting

terhadap sistem pendidikan di Indonesia yang belum sepenuhnya menyentuh aspek-aspek tersebut. Rendahnya literasi sains siswa di Indonesia dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti metode pembelajaran yang kurang interaktif dan bahan ajar yang belum kontekstual.

Sari *et al.* (2020) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa skor literasi sains siswa SMP hanya mencapai rata-rata 47,5% dari indikator pengetahuan ilmiah, dan 41% dari aspek sikap ilmiah, yang menandakan perlunya pembelajaran yang lebih bermakna dan kontekstual. Temuan ini menunjukkan pentingnya pengembangan bahan ajar digital berbasis *Project Based Learning* (PjBL) yang dapat meningkatkan keterlibatan siswa secara aktif dalam pembelajaran serta menghubungkan konsep sains dengan kehidupan nyata. Selain itu, kurangnya penerapan metode pembelajaran yang interaktif dan kontekstual juga turut berkontribusi terhadap minimnya pemahaman siswa dalam bidang sains.

Pembelajaran yang hanya berpusat pada guru dan minimnya penggunaan pendekatan berbasis proyek atau praktikum sering kali membuat siswa kurang terlibat secara aktif dalam proses belajar. Sari *et al.* (2020) menemukan bahwa lebih dari 60% guru sains di sekolah menengah pertama masih menggunakan metode ceramah dan belum mengintegrasikan pendekatan berbasis proyek, sehingga siswa kurang terlibat dalam kegiatan eksploratif yang mendukung literasi sains. Hal ini berdampak pada kemampuan siswa untuk menerapkan konsep sains dalam kehidupan nyata, sehingga mereka sulit melihat relevansi ilmu yang dipelajari dengan masalah sehari-hari. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam bahan ajar dan penerapan metode pembelajaran yang lebih efektif, seperti pendekatan berbasis proyek, untuk meningkatkan literasi sains siswa.

Bahan ajar memegang peranan penting dalam proses pembelajaran. Olayinka (2021) menyatakan bahwa bahan ajar adalah alat utama bagi guru dan peserta didik untuk meningkatkan efisiensi dan hasil belajar siswa.

Akpan, *et al.* (2018) menjelaskan bahwa bahan ajar elektronik atau e-modul merupakan media atau objek yang membantu guru dalam menyampaikan materi secara logis dan terstruktur. Bahan ajar juga berperan dalam membekali siswa dengan keterampilan abad 21, seperti berpikir kritis, menghubungkan ilmu dengan kehidupan nyata, menguasai teknologi informasi dan komunikasi, serta bekerja sama. Untuk mencapai keterampilan tersebut, bahan ajar harus sesuai dengan minat dan kebutuhan siswa. Dengan demikian, bahan ajar dapat dipahami sebagai alat utama dalam proses pembelajaran yang berfungsi untuk memfasilitasi siswa dalam membangun pengetahuan, mengembangkan keterampilan, dan mencapai kompetensi yang diharapkan. Pernyataan ini diperkuat oleh Pursitasari (2019) yang menjelaskan bahwa bahan ajar berperan penting dalam membantu guru menyampaikan materi secara terstruktur dan mendukung pencapaian hasil belajar siswa.

Pembelajaran saintifik menjadi topik menarik bagi para pendidik dengan diterapkannya kurikulum merdeka. Berlandaskan pada konstruktivisme, pembelajaran ini diyakini mampu memenuhi tujuan pendidikan nasional yang ingin dicapai saat ini. Tantangan bagi guru yaitu bagaimana mengembangkan aktivitas siswa selama proses pembelajaran. Aktivitas dalam pembelajaran saintifik dirancang untuk melatih keterampilan berpikir dan menumbuhkan rasa ingin tahu siswa (Asyhari, 2020). Model pembelajaran PjBL dinilai tepat untuk diterapkan dalam pendekatan saintifik karena memiliki kesamaan dalam tahapan pembelajaran yang menekankan proses ilmiah. Sintaks PjBL yang meliputi (1) menentukan pertanyaan mendasar, (2) merancang perencanaan proyek, (3) menyusun jadwal, (4) memantau kemajuan proyek, (5) menguji hasil, dan (6) mengevaluasi pengalaman belajar, sejalan dengan sintaks pembelajaran saintifik yang mencakup: mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, menalar, dan mengomunikasikan (Kemendikbud, 2016). Setiap tahapan dalam PjBL mengakomodasi proses ilmiah tersebut, seperti tahap “menentukan pertanyaan” yang

sejalan dengan proses “menanya”, serta tahap “menguji hasil” yang mencerminkan kegiatan “menalar dan mengomunikasikan” dalam saintifik. Oleh karena itu, integrasi PjBL dalam pendekatan saintifik dapat memperkuat keterlibatan aktif siswa dalam mengeksplorasi konsep sains secara lebih kontekstual dan bermakna.

PjBL merupakan model yang menekankan keterlibatan aktif siswa dalam proses belajar. Dalam pendekatan ini, siswa menjadi fokus utama yang terlibat dalam setiap tahap pembelajaran, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga evaluasi proyek yang berkaitan dengan materi pelajaran. Model ini dirancang untuk mengintegrasikan pengetahuan dan keterampilan siswa melalui pengalaman langsung dalam menyelesaikan tantangan dunia nyata. Pembelajaran yang bermakna harus mampu melibatkan siswa secara aktif agar mereka memahami konsep dengan lebih mendalam dan mampu menerapkannya dalam kehidupan nyata. PjBL merupakan salah satu model pembelajaran yang mendukung tujuan tersebut karena mendorong keterlibatan langsung siswa melalui proyek yang kontekstual dan kolaboratif. Yuliani *et al.* (2024) menyatakan bahwa PjBL dapat meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan praktis, serta kemampuan analitis siswa.

Pengembangan bahan ajar digital seharusnya tidak hanya menyampaikan materi, tetapi juga mampu menumbuhkan keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran. Salah satu cara untuk mencapainya adalah dengan menggabungkan bahan ajar interaktif dengan model pembelajaran yang berpusat pada siswa, seperti PjBL. Model ini memberikan ruang bagi peserta didik untuk belajar melalui pengalaman nyata, menganalisis permasalahan, serta menemukan solusi secara mandiri maupun kelompok. Srikawati *et al.* (2022) menyatakan bahwa PjBL memungkinkan siswa untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis melalui aktivitas penyelidikan dan pemecahan masalah yang disajikan dalam bahan ajar interaktif.

Dalam pengembangan bahan ajar digital ini, media yang digunakan adalah Book Creator. Platform ini dipilih karena mampu memfasilitasi penyusunan *e-book* interaktif yang mendukung integrasi teks, gambar, audio, video, dan tautan eksternal dalam satu tampilan yang menarik dan mudah digunakan. Book Creator memungkinkan guru menyusun materi pembelajaran berbasis proyek secara fleksibel dan kreatif, serta memberikan ruang bagi siswa untuk mengeksplorasi konten secara mandiri maupun kolaboratif. Selain itu, Book Creator mendukung pembelajaran yang dapat diakses di berbagai perangkat, sehingga sangat sesuai dengan kebutuhan pembelajaran digital di era modern. Menurut Kaamilah *et al.* (2023), penggunaan Book Creator dalam pengembangan bahan ajar digital terbukti meningkatkan keterlibatan siswa, memperjelas konsep abstrak, serta mendorong pembelajaran mandiri dan kolaboratif. Kemampuannya dalam menyajikan materi secara visual, interaktif, dan aplikatif menjadikan platform ini sebagai media yang tepat dalam mendukung peningkatan literasi sains siswa melalui pendekatan PjBL.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan bahan ajar digital maupun menerapkan model PjBL dalam pembelajaran sains. Misalnya, Kaamilah *et al.* (2023) mengembangkan bahan ajar digital interaktif berbasis inkuiri pada mata pelajaran IPA SD dan menunjukkan peningkatan keterlibatan siswa. Srikawati *et al.* (2022) juga mengembangkan LKPD berbasis PjBL dan menyimpulkan bahwa pendekatan proyek efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada pengembangan satu aspek saja, seperti media berbasis proyek tanpa integrasi digital, atau bahan ajar digital tanpa menyoroti penguatan literasi sains secara komprehensif. Selain itu, penggunaan platform interaktif seperti Book Creator sebagai media pembelajaran digital berbasis PjBL masih jarang dikaji, terutama dalam konteks materi energi terbarukan di tingkat SMA. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menghadirkan kebaruan

(*novelty*) dalam bentuk pengembangan bahan ajar digital berbasis PjBL yang mengintegrasikan teknologi interaktif (Book Creator) dan dirancang khusus untuk meningkatkan literasi sains siswa kelas X SMA melalui pembelajaran proyek yang kontekstual dan kolaboratif. Materi seperti energi terbarukan memerlukan pemahaman konseptual yang kuat serta keterkaitan dengan fenomena kehidupan nyata. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang tidak hanya menyajikan materi secara informatif, tetapi juga mampu memfasilitasi pengalaman belajar yang melibatkan proses penyelidikan dan pemecahan masalah.

Dengan mempertimbangkan urgensi penguatan literasi sains dan pentingnya inovasi bahan ajar dalam pembelajaran fisika, diperlukan bahan ajar digital yang berbasis PjBL. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan ajar digital berbasis PjBL yang dapat meningkatkan literasi sains siswa kelas X SMA, khususnya pada materi energi terbarukan. Penelitian ini difokuskan pada beberapa permasalahan utama, yakni bagaimana tahapan pengembangan bahan ajar digital dilakukan, seperti apa karakteristik bahan ajar yang dikembangkan, sejauh mana tingkat kelayakan dan kepraktisan bahan ajar berdasarkan penilaian ahli maupun tanggapan siswa, serta bagaimana efektivitas bahan ajar tersebut dalam meningkatkan literasi sains siswa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE, yang terdiri dari lima tahap, yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation* (Branch, 2009). Desain ini dipilih karena mampu mengakomodasi proses pengembangan produk pembelajaran secara sistematis dan terstruktur. Subjek penelitian terdiri dari 3 orang validator (1 dosen ahli materi dan 2 guru fisika), serta 68 siswa kelas X SMA Negeri 3 Semarang yang terbagi dalam kelas eksperimen

(X-3, 34 siswa) dan kelas kontrol (X-1, 34 siswa).

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan memberikan lembar validasi kepada ahli materi dan ahli media untuk menilai kelayakan bahan ajar digital yang dikembangkan. Selain itu, angket kepraktisan disebarkan kepada siswa kelas X-3 setelah mereka mengikuti pembelajaran menggunakan bahan ajar digital berbasis PjBL. Untuk mengukur efektivitas bahan ajar, dilakukan tes literasi sains berupa pretest dan posttest pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Pemilihan subjek dalam penelitian ini menggunakan teknik purposive sampling, yaitu penentuan kelas secara sengaja berdasarkan pertimbangan guru mata pelajaran bahwa kedua kelas memiliki karakteristik akademik yang setara. Kelas X-3 ditetapkan sebagai kelas eksperimen, sedangkan kelas X-1 sebagai kelas kontrol. Teknik ini digunakan agar penelitian dapat dilakukan secara efektif dan sesuai dengan kondisi lapangan.

Data dianalisis secara kuantitatif deskriptif dan inferensial, meliputi:

1. Kelayakan dianalisis berdasarkan rata-rata skor dari validator. Menurut Akbar (2017) kriteria Tingkat kelayakan bahan ajar tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Tingkat kelayakan bahan ajar

Interval	Kriteria
$85\% \leq P \leq 100\%$	Sangat Layak, dapat digunakan tanpa revisi
$70\% \leq P < 85\%$	Layak, dapat digunakan namun dengan revisi kecil
$50\% \leq P < 70\%$	Kurang Layak, disarankan tidak dipergunakan karena perlu revisi besar
$25\% \leq P < 50\%$	Tidak Layak, tidak boleh digunakan

2. Kepraktisan dianalisis dari angket respons siswa menggunakan kategori pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Penilaian Angket Respon Siswa

Interval	Kriteria
$85\% \leq P \leq 100\%$	Sangat Praktis
$70\% \leq P < 85\%$	Praktis
$50\% \leq P < 70\%$	Cukup Praktis
$25\% \leq P < 50\%$	Tidak Praktis

(Sugiyono, 2019)

3. Efektivitas bahan ajar dianalisis dengan menghitung N-Gain dan uji statistik *paired t-test* menggunakan SPSS. N-Gain dihitung dengan rumus yang ditunjukkan pada Persamaan (1) (Sugiyono, 2019).

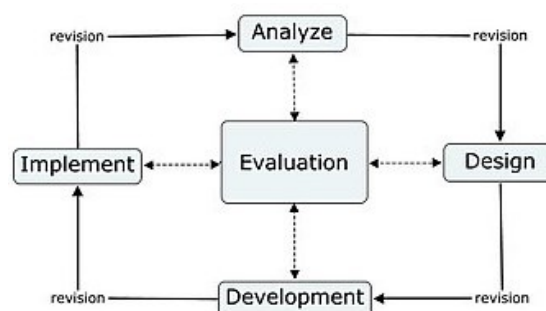
$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_{post} \rangle - \langle S_{pre} \rangle}{100\% - \langle S_{pre} \rangle} \quad (1)$$

Interpretasi kategori N-Gain menurut Hardiyantari (2020) tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Nilai Gain

Nilai	Klasifikasi
$(N\text{-gain}) \geq 0,7$	Tinggi
$0,7 > (N\text{-gain}) \geq 0,3$	Sedang
$(N\text{-gain}) < 0,3$	Rendah

Model ADDIE dipilih karena menawarkan pendekatan yang sistematis, terstruktur, dan fleksibel dalam mengembangkan perangkat pembelajaran yang efektif dan sesuai dengan kebutuhan peserta didik (Akbar, 2017). Setiap tahap dalam model ADDIE dijalankan secara berurutan dan saling terkait seperti tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Pengembangan ADDIE

Pada tahap pertama yaitu analisis, dilakukan identifikasi kebutuhan pembelajaran melalui wawancara dengan guru mata pelajaran fisika dan analisis kurikulum. Dari hasil analisis, ditemukan bahwa siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep energi terbarukan dan pembelajaran masih

berpusat pada guru serta minim proyek. Oleh karena itu, diperlukan inovasi bahan ajar yang mampu melibatkan siswa secara aktif dan kontekstual.

Tahap perancangan (*design*) dilakukan dengan menyusun rancangan awal bahan ajar digital, baik dari sisi struktur isi, tampilan visual, maupun integrasi sintaks PjBL yang mencakup enam langkah pembelajaran proyek. Pada tahap ini juga dirancang alat ukur untuk menilai literasi sains siswa, berupa soal pilihan ganda sebanyak 20 butir soal yang dikembangkan berdasarkan empat indikator literasi sains menurut Chiappetta (1993), yaitu: (1) sains sebagai tubuh pengetahuan, (2) sains sebagai cara untuk menyelidiki, (3) sains sebagai cara berpikir, dan (4) interaksi antara sains, teknologi, dan masyarakat (STS). Butir soal disusun mengacu pada kompetensi dasar dan konteks materi energi terbarukan. Perancangan ini juga mencakup pemilihan media digital yang akan digunakan, yakni Book Creator dan AnyFlip, serta penyusunan alat ukur seperti lembar validasi, angket kepraktisan, dan soal literasi sains.

Selanjutnya pada tahap pengembangan (*development*), dilakukan produksi bahan ajar digital dengan konten interaktif dan visual menarik yang sesuai dengan kompetensi dasar. Setelah itu, dilakukan validasi terhadap bahan ajar digital oleh ahli materi dan ahli media. Subjek pada tahap validasi ini terdiri dari satu dosen fisika dan dua guru fisika. Penilaian mencakup aspek kelayakan isi, bahasa, tampilan grafis, dan keterpaduan dengan model pembelajaran berbasis proyek. Bahan ajar direvisi berdasarkan masukan dari validator sebelum diuji coba.

Pada tahap implementasi, bahan ajar diterapkan dalam pembelajaran di kelas X SMA Negeri 3 Semarang. Subjek dalam penelitian ini terdiri dari dua kelas, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen adalah kelas X-3 yang terdiri dari 34 siswa dan diberikan perlakuan menggunakan bahan ajar digital berbasis PjBL. Sementara itu, kelas kontrol adalah kelas X-1 yang juga terdiri dari 34 siswa dan diberikan pembelajaran menggunakan bahan ajar konvensional. Selama

proses pembelajaran, siswa melakukan proyek kelompok, berdiskusi, serta membuat produk berupa poster tentang energi terbarukan.

Tahap terakhir adalah evaluasi (*evaluation*) yang terdiri dari evaluasi formatif selama proses pengembangan dan evaluasi sumatif setelah implementasi. Evaluasi dilakukan melalui analisis validitas, kepraktisan, dan keefektifan bahan ajar.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi lembar validasi bahan ajar, angket respon siswa dan guru, lembar observasi aktivitas siswa, serta soal *pretest* dan *posttest* literasi sains. Validitas bahan ajar dianalisis berdasarkan skor rata-rata dari validator, sedangkan kepraktisan dianalisis berdasarkan persentase hasil angket. Untuk mengetahui keefektifan bahan ajar, dilakukan *paired t-test* menggunakan *software* SPSS serta perhitungan N-Gain untuk mengetahui peningkatan hasil belajar siswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengembangan Bahan Ajar Digital Materi Energi Terbarukan

Penelitian ini mengembangkan bahan ajar digital berbasis *Project Based Learning* (PjBL) dengan menggunakan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*). Model ini dipilih karena merupakan pendekatan sistematis yang memungkinkan perencanaan, pengembangan, dan evaluasi bahan ajar secara bertahap sehingga produk yang dihasilkan lebih efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa. Tahapan dalam model ini memastikan bahwa setiap langkah dalam pengembangan bahan ajar didasarkan pada kebutuhan nyata siswa dan diimplementasikan dengan baik di kelas.

Tahap pertama, yaitu analisis, dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran di lapangan. Berdasarkan hasil observasi di kelas dan wawancara dengan guru mata pelajaran Fisika kelas X SMA, aktivitas eksploratif dan keterlibatan aktif peserta didik dalam pembelajaran masih dapat ditingkatkan. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat peluang untuk menghadirkan inovasi bahan ajar yang

lebih kontekstual dan interaktif guna mendukung penguatan literasi sains peserta didik, terutama kemampuan menyelesaikan masalah berdasarkan pengalaman nyata. Sehingga diputuskan untuk mengembangkan bahan ajar digital berbasis PjBL agar siswa dapat terlibat secara aktif dalam pembelajaran dan memahami konsep sains melalui pengalaman langsung. Berdasarkan kurikulum dan masukan dari guru, topik energi terbarukan dipilih karena memiliki relevansi yang tinggi dengan kehidupan sehari-hari serta dapat dikaitkan dengan berbagai proyek ilmiah yang dapat dilakukan oleh siswa. Hasil analisis ini menjadi dasar penting dalam merancang bahan ajar yang sesuai dengan karakteristik peserta didik dan kebutuhan pembelajaran abad 21, di mana keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif menjadi sangat penting.

Tahap kedua adalah desain. Pada tahap ini, peneliti merancang struktur dan konten bahan ajar digital berdasarkan sintaks PjBL yang

mencakup enam langkah utama. Desain bahan ajar juga disesuaikan dengan capaian pembelajaran dalam Kurikulum Merdeka dan indikator literasi sains yang mencakup empat aspek, yakni: konteks sains, pengetahuan ilmiah, proses sains, serta sikap terhadap sains. Peneliti juga merancang tampilan visual dan navigasi bahan ajar agar mudah digunakan oleh siswa dan mampu menarik minat belajar mereka. Pemilihan media pembelajaran ditujukan untuk memanfaatkan teknologi digital yang umum digunakan siswa, yaitu perangkat berbasis internet seperti laptop, tablet, dan *smartphone*. Dalam tahap ini, struktur bahan ajar dirancang secara sistematis agar memudahkan siswa dalam memahami materi. Struktur bahan ajar terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu *cover*, daftar isi, pendahuluan, materi utama, aktivitas proyek, evaluasi, dan referensi. Untuk *cover* dan uraian materi pada bahan ajar tertera pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Cover Bahan Ajar

Tahap ketiga adalah pengembangan. Pada tahap ini, bahan ajar digital mulai dibuat menggunakan platform Canva, karena Canva menyediakan fitur desain yang fleksibel serta mendukung integrasi multimedia seperti teks, gambar, video, dan tautan eksternal yang menunjang keterlibatan siswa dalam



Gambar 3. Uraian Materi

pembelajaran. Materi dalam bahan ajar mencakup pengenalan energi terbarukan, jenis-jenisnya seperti energi surya, angin, air, dan biomassa, serta manfaat dan tantangan pemanfaatannya. Siswa juga diberikan tugas proyek sederhana berupa observasi dan analisis penerapan energi terbarukan di

lingkungan sekitar mereka. Penyusunan materi dalam bahan ajar mempertimbangkan prinsip kognitif dan pedagogik agar siswa dapat memahami konsep secara bertahap dan mendalam. Setelah produk bahan ajar selesai dikembangkan, dilakukan proses validasi oleh tiga orang ahli, yaitu satu dosen fisika sebagai ahli materi dan dua guru fisika sebagai ahli media. Validasi dilakukan untuk menilai kelayakan bahan ajar dari aspek isi, kebahasaan, penyajian, dan kegrafikan.

Tahap implementasi dilakukan dengan mengujicobakan bahan ajar digital kepada siswa kelas X SMA. Kegiatan ini dilaksanakan dalam beberapa pertemuan yang mencakup pemberian materi dan pelaksanaan proyek sederhana. Selama proses implementasi, siswa menunjukkan minat tinggi terhadap penggunaan bahan ajar digital, yang tercermin dari keterlibatan aktif mereka dalam diskusi, eksplorasi materi, dan pelaksanaan tugas proyek. Proyek yang dilakukan oleh siswa memberikan ruang untuk berpikir kritis, memecahkan masalah nyata, serta bekerja sama dalam tim. Penggunaan bahan ajar digital juga memberikan pengalaman belajar yang lebih fleksibel, karena dilengkapi dengan visualisasi materi dan dapat diakses secara mandiri melalui perangkat masing-masing siswa.

Tahap terakhir, yaitu evaluasi, dilakukan untuk menilai efektivitas bahan ajar digital dalam mendukung pembelajaran dan meningkatkan literasi sains siswa. Evaluasi dilakukan melalui penilaian *pretest* dan *posttest*, serta angket respon siswa. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada kemampuan literasi sains siswa setelah menggunakan bahan ajar digital berbasis PjBL. Hal ini dibuktikan dengan nilai rata-rata *pretest* siswa sebesar 55,14 yang meningkat menjadi 86,76 pada *posttest*. Siswa menjadi lebih mampu menjelaskan konsep energi terbarukan, menghubungkannya dengan konteks kehidupan sehari-hari, serta menunjukkan sikap positif terhadap pentingnya energi bersih. Selain itu, siswa menyatakan bahwa bahan ajar mudah

dipahami, menarik, dan membantu mereka belajar secara lebih mandiri dan kolaboratif.

Dengan demikian, pengembangan bahan ajar digital berbasis *Project Based Learning* ini telah melalui proses yang sistematis dan menghasilkan produk yang layak serta efektif. Bahan ajar ini tidak hanya mampu memfasilitasi pencapaian tujuan pembelajaran, tetapi juga mendorong peningkatan literasi sains siswa kelas X SMA. Penggunaan bahan ajar digital ini sangat disarankan sebagai alternatif pembelajaran yang inovatif, terutama dalam topik-topik sains yang berkaitan dengan isu global seperti energi terbarukan.

B. Karakteristik Bahan Ajar

Bahan ajar digital yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki beberapa karakteristik utama, yaitu berbasis multimedia, interaktif, fleksibel, serta mendukung keterampilan berpikir kritis dan kolaboratif. Karakteristik ini dirancang sesuai dengan prinsip-prinsip pengembangan bahan ajar digital yang efektif, sebagaimana dijelaskan oleh Kaamilah *et al.* (2023), bahwa media pembelajaran digital sebaiknya mampu memfasilitasi keterlibatan siswa secara aktif melalui konten visual dan interaksi mandiri maupun kolaboratif. Bahan ajar digital yang dikembangkan mengintegrasikan pendekatan *Project Based Learning* (PjBL) dengan empat aspek literasi sains menurut Chiappetta (1993). Keempat aspek tersebut meliputi: (1) sains sebagai batang tubuh pengetahuan (*science as a body of knowledge*), (2) sains sebagai cara untuk menyelidiki (*science as a way of investigating*), (3) sains sebagai cara berpikir (*science as a way of thinking*), dan (4) interaksi antara sains, teknologi, dan masyarakat (STS) (*interaction of science, technology, and society*).

Sains sebagai Batang Tubuh Pengetahuan

Bahan ajar ini menyajikan konsep energi terbarukan secara sistematis dengan dukungan berbagai sumber belajar digital seperti video interaktif, animasi, dan ilustrasi pendukung. Penggunaan video interaktif, simulasi, dan ilustrasi digital dirancang untuk memfasilitasi berbagai gaya belajar siswa. Hal ini sejalan

dengan pendapat Widayoko *et al.* (2018), yang menyatakan bahwa penggunaan multimedia interaktif dapat meningkatkan pemahaman konsep sains secara signifikan karena visualisasi memudahkan proses berpikir abstrak. Penyampaian materi dibuat menarik dan beragam untuk membantu siswa memahami konsep secara lebih mendalam.

Dengan adanya variasi media pembelajaran, siswa dapat memperoleh penjelasan yang lebih jelas mengenai energi terbarukan dan bagaimana konsep tersebut diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan hasil validasi dari tiga validator, aspek ini memperoleh persentase 29,50%, yang menunjukkan bahwa bahan ajar telah dirancang dengan baik dalam menyampaikan konsep sains secara jelas dan sistematis.

Sains sebagai Cara untuk Menyelidiki

Bahan ajar ini dirancang agar siswa dapat melakukan penyelidikan sederhana terkait pemanfaatan energi terbarukan. Dalam proyek berbasis PjBL, siswa diberikan tugas untuk mengumpulkan data, menguji hipotesis, dan menyusun laporan hasil observasi mereka. Pendekatan ini membantu siswa memahami bagaimana metode ilmiah diterapkan dalam kehidupan nyata serta meningkatkan keterampilan dalam melakukan eksperimen dan analisis data. Kegiatan ini mencerminkan proses ilmiah secara nyata, sebagaimana ditekankan oleh Astutik *et al.* (2021), bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan keterampilan investigatif dan pemahaman mendalam terhadap konsep IPA. Aktivitas eksperimen dalam proyek membantu siswa mengalami proses berpikir ilmiah secara langsung, termasuk observasi, merumuskan hipotesis, dan verifikasi data, yang merupakan inti dari literasi ilmiah. Keterampilan ini penting dalam menghadapi masalah sains dan teknologi di masyarakat global.

Aspek ini mendapatkan persentase tertinggi dalam validasi, yaitu 32,37%, menunjukkan bahwa bahan ajar sangat menekankan pada investigasi ilmiah dan eksplorasi konsep energi terbarukan melalui berbagai aktivitas berbasis penyelidikan.

Sains sebagai Cara Berfikir

Dalam bahan ajar ini, siswa didorong untuk berpikir kritis melalui pertanyaan pemantik dan tugas analisis yang terdapat dalam Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). Siswa tidak hanya membaca materi tetapi juga diberikan kesempatan untuk mengeksplorasi konsep, membandingkan berbagai sumber energi, serta menarik kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan dan diskusi kelompok. Melalui aktivitas ini, siswa dilatih untuk membangun pemikiran yang logis serta mengembangkan kemampuan argumentasi berdasarkan fakta ilmiah. Meskipun aspek ini memperoleh nilai sebesar 14,39% dalam hasil validasi, yang merupakan persentase terendah di antara aspek literasi sains lainnya, bahan ajar tetap memberikan stimulus yang cukup untuk meningkatkan pola pikir kritis siswa. Menurut catatan validator, skor rendah ini disebabkan oleh minimnya aktivitas eksplisit yang mengarahkan siswa untuk mengevaluasi argumen atau menarik kesimpulan berdasarkan bukti ilmiah. Beberapa tugas proyek dinilai masih lebih menekankan pada deskripsi dan observasi, bukan analisis mendalam. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sari *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa peningkatan keterampilan berpikir kritis memerlukan dukungan kegiatan pembelajaran yang secara eksplisit mengarahkan siswa pada proses evaluasi dan refleksi, bukan sekadar eksplorasi informasi. Oleh karena itu, meskipun skor aspek ini rendah, kehadiran fitur proyek dalam bahan ajar tetap menjadi langkah awal yang potensial untuk membangun keterampilan berpikir kritis secara bertahap. Dalam bahan ajar digital, aspek ini ditandai dengan fitur pertanyaan reflektif dan tugas analisis pada LKPD yang mendorong siswa untuk berpikir kritis. Menurut Zubaidah (2019), keterampilan berpikir kritis harus dilatih secara eksplisit dan berkesinambungan dalam pembelajaran sains. Oleh karena itu, penguatan fitur LKPD yang mendorong analisis terbuka dan refleksi menjadi strategi penting untuk mengoptimalkan aspek ini pada pengembangan berikutnya.

Interaksi antara Sains, Teknologi dan Masyarakat

Bahan ajar ini juga memperkenalkan siswa dengan teknologi pembelajaran berbasis multimedia yang interaktif. Penggunaan platform digital memungkinkan siswa untuk lebih aktif dalam belajar, baik secara individu maupun dalam kelompok. Selain itu, dalam proyek PjBL yang diberikan, siswa diajak untuk mengeksplorasi bagaimana energi terbarukan dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari serta memahami dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat. Dengan demikian, siswa tidak hanya memahami konsep secara teoritis tetapi juga mampu melihat relevansinya dalam kehidupan nyata. Berdasarkan validasi, aspek ini memperoleh 23,74%, yang menunjukkan bahwa bahan ajar ini cukup efektif dalam menghubungkan sains dengan kehidupan sosial dan teknologi. Dalam bahan ajar digital, aspek ini ditandai dengan fitur diskusi berbasis proyek dan eksplorasi dampak energi terbarukan dalam kehidupan nyata yang membantu siswa menghubungkan sains dengan masyarakat dan teknologi.

Hasil validasi menunjukkan bahwa bahan ajar digital yang dikembangkan sangat layak untuk digunakan dalam pembelajaran. Penilaian dari ahli materi menunjukkan persentase kelayakan sebesar 88%, sementara dari ahli media sebesar 91%, keduanya

termasuk dalam kategori “sangat layak”. Berdasarkan masukan dari ahli, dilakukan beberapa revisi seperti penyederhanaan bahasa agar lebih mudah dipahami oleh siswa, penambahan petunjuk penggunaan pada awal bahan ajar, dan perbaikan desain visual antar halaman agar lebih konsisten. Revisi ini dilakukan agar bahan ajar tidak hanya kuat secara konten, tetapi juga menarik dan mudah digunakan.

Dengan keempat karakteristik tersebut serta hasil validasi yang sangat baik, bahan ajar digital ini diharapkan dapat menjadi sarana pembelajaran inovatif yang efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa pada materi energi terbarukan, sekaligus membekali mereka dengan keterampilan abad 21 yang relevan.

C. Kelayakan Bahan Ajar

Hasil validasi bahan ajar digital yang dikembangkan menunjukkan bahwa semua aspek yang dinilai memiliki tingkat validitas yang tinggi. Validasi dilakukan oleh tiga validator, yaitu dosen fisika Universitas Negeri Semarang, guru fisika SMAN 3 Semarang, dan guru fisika SMAQT Al Hamidiyah Pati. Validasi ini mencakup lima aspek utama, yaitu kelayakan isi, teknik penyajian, penilaian bahasa, kegrafisan, dan literasi sains. Hasil validasi yang diperoleh tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji Kelayakan Bahan Ajar

Perolehan Skor (%)						
No.	Kode Validator	Kelayakan Isi	Teknik Penyajian	Penilaian Bahasa	Kegrafisan	Literasi sains
1.	V-01	81,66	90	80,55	92,85	82,69
2.	V-02	88,33	90	80,55	87,50	90,38
3.	V-03	90	93,33	80,55	91,07	92,30
	Rata-rata	86,66	91,11	80,55	90,47	88,45
	Interpretasi	Sangat Layak	Sangat Layak	Layak	Sangat Layak	Sangat Layak

Hasil validasi bahan ajar digital berbasis PjBL menunjukkan tingkat kelayakan yang sangat baik secara keseluruhan. Rata-rata skor validasi dari lima aspek utama, yaitu kelayakan isi (86,66%), teknik penyajian (91,11%), penilaian bahasa (80,55%), kegrafisan (90,47%), dan literasi sains (88,45%),

menunjukkan bahwa bahan ajar ini sudah memenuhi standar kualitas yang diharapkan. Aspek teknik penyajian memperoleh nilai tertinggi, yang menandakan bahwa penyusunan konten dan urutan pembelajaran dalam bahan ajar telah dinilai sangat baik oleh para ahli. Hal ini menunjukkan bahwa materi

disajikan dengan cara yang logis, terstruktur, dan mudah diikuti oleh siswa.

Namun, aspek penilaian bahasa mendapat skor terendah, yaitu 80,55%. Meskipun masih tergolong layak, hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk perbaikan minor, terutama dalam hal kejelasan penggunaan istilah ilmiah dan efektivitas penyampaian materi. Evaluasi dari validator mengindikasikan bahwa penggunaan kalimat perlu lebih ringkas dan jelas untuk memudahkan pemahaman siswa. Selain itu, konsistensi dalam penggunaan istilah dan formula matematis juga perlu diperhatikan agar tidak membingungkan siswa.

Meskipun demikian, aspek kelayakan isi memperoleh skor yang cukup tinggi, yaitu 86,66%, yang menandakan bahwa bahan ajar sudah sesuai dengan kurikulum, memiliki kedalaman materi yang memadai, dan menyajikan konsep-konsep secara sistematis dan logis. Aspek kegrafisan, dengan skor 90,47%, juga mendapat penilaian tinggi, yang menunjukkan bahwa pemilihan warna, tata letak, dan ilustrasi yang digunakan dalam bahan ajar sudah mendukung pemahaman siswa terhadap konsep yang diajarkan. Aspek literasi sains, dengan skor 88,45%, menunjukkan bahwa bahan ajar ini berhasil menyediakan kesempatan bagi siswa untuk melakukan eksplorasi dan refleksi ilmiah, yang penting dalam pembelajaran berbasis PjBL.

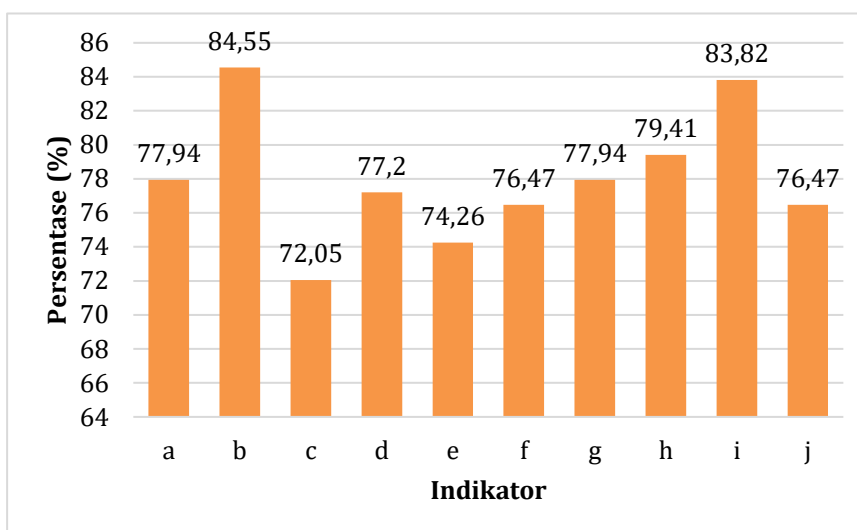
Secara keseluruhan, hasil validasi menunjukkan bahwa bahan ajar ini memiliki kualitas yang sangat baik dan layak digunakan dalam pembelajaran. Namun, berdasarkan masukan dari validator, masih ada beberapa perbaikan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efektivitas bahan ajar, terutama dalam hal penyusunan kalimat dan kejernihan

istilah ilmiah. Dengan mempertimbangkan saran-saran tersebut, bahan ajar ini dapat terus disempurnakan untuk mencapai hasil yang lebih optimal dalam meningkatkan pemahaman dan literasi sains siswa.

Menurut Kaamilah *et al.* (2023), bahan ajar digital yang baik harus memperhatikan tiga aspek penting: teknis, pedagogis, dan psikologis. Bahan ajar ini sudah berhasil memenuhi aspek teknis dan pedagogis dengan baik, namun masih perlu penyempurnaan pada aspek bahasa dan kejernihan istilah ilmiah agar lebih mudah dipahami siswa. Secara keseluruhan, bahan ajar digital berbasis PjBL ini menunjukkan kualitas yang sangat baik dan siap digunakan sebagai sumber belajar yang inovatif dalam pembelajaran energi terbarukan.

D. Kepraktisan Bahan Ajar

Uji kepraktisan dilakukan pada bahan ajar digital berbasis PjBL yang dikembangkan untuk meningkatkan literasi sains siswa kelas X-3 SMA Negeri 3 Semarang pada materi energi terbarukan. Kepraktisan bahan ajar ini dianalisis melalui angket yang diberikan kepada siswa, karena penilaian oleh guru sebagai validator sudah mencakup uji kelayakan bahan ajar. Angket terdiri dari 10 pernyataan yang diisi oleh 34 siswa setelah menggunakan bahan ajar berbasis PjBL. Hasil uji kepraktisan bahan ajar serta respon siswa terhadap pembelajaran berbasis proyek diperoleh melalui analisis angket yang telah disusun dan disesuaikan dengan karakteristik bahan ajar digital. Hasil analisis kepraktisan bahan ajar digital berbasis PjBL untuk meningkatkan literasi sains siswa, tertera pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Uji Kepraktisan Bahan Ajar

Keterangan Indikator:

- a: Kemudahan Akses dan Penggunaan
- b: Keterkaitan dengan Kehidupan Sehari-hari
- c: Kejelasan Dialog/Teks
- d: Keterpahaman Bahasa
- e: Keterbacaan Tulisan
- f: Kejelasan Gambar dan Tabel
- g: Keterurutan Materi
- h: Desain Menarik
- i: Keterjangkauan Waktu dan Tempat
- j: Meningkatkan Belajar Mandiri

Uji kepraktisan bahan ajar digital berbasis *Project Based Learning* (PjBL) pada materi energi terbarukan menunjukkan hasil positif dengan skor rata-rata 78,01%, termasuk dalam kategori praktis. Penilaian dilakukan oleh 34 siswa kelas X-3 SMA Negeri 3 Semarang melalui angket, dengan indikator tertinggi pada keterkaitan materi dengan kehidupan sehari-hari (84,55%) dan keterjangkauan waktu serta tempat (83,82%). Hal ini menunjukkan bahwa bahan ajar relevan dan fleksibel untuk pembelajaran mandiri.

Fitur interaktif seperti video, simulasi, dan diskusi proyek dinilai membantu pemahaman siswa terhadap konsep, sesuai pendapat Widayoko *et al.* (2018) bahwa interaktivitas penting dalam bahan ajar digital. Namun, beberapa aspek seperti kejelasan teks (72,05%) dan keterbacaan tulisan (74,26%) masih perlu ditingkatkan. Selain itu, keterbatasan akses karena bahan ajar hanya

tersedia secara online menjadi kendala bagi sebagian siswa. Meskipun demikian, secara keseluruhan bahan ajar ini sudah memenuhi kriteria kepraktisan dan dapat mendukung pembelajaran aktif dan mandiri. Seperti dikemukakan Hardjo *et al.* (2018), kepraktisan merupakan faktor penting dalam keberhasilan penggunaan bahan ajar di kelas.

E. Peningkatan Kemampuan Literasi Sains

Peningkatan literasi sains dalam penelitian ini diperoleh melalui pembelajaran berbasis PjBL yang dirancang untuk mengembangkan aspek kognitif, sikap, dan keterampilan siswa. Perbandingan antara kelas kontrol (X-1) dan kelas eksperimen (X-3) dilakukan melalui *pretest* dan *posttest* menggunakan 20 soal pilihan ganda yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya. Hasil uji validitas menunjukkan bahwa semua butir soal

memiliki korelasi signifikan dengan total skor ($p < 0,05$), sementara nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,782 mengindikasikan konsistensi yang tinggi, sehingga instrumen layak digunakan dalam penelitian ini.

Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada aspek kognitif dan keterampilan siswa setelah menggunakan bahan ajar digital berbasis PjBL. Model PjBL efektif karena melibatkan siswa secara aktif dalam proyek yang relevan dengan kehidupan nyata, mendorong eksplorasi, pemecahan masalah, dan presentasi hasil. Hal ini sejalan dengan pendapat Pujianti (2019) bahwa PjBL mendukung pengembangan literasi sains melalui penerapan konsep ilmiah, pengambilan keputusan berbasis bukti, dan sikap peduli terhadap isu lingkungan dan teknologi.

Selain itu, penerapan PjBL juga sesuai dengan empat dimensi literasi sains menurut

Chiappetta (1993), yaitu sains sebagai pengetahuan, metode penyelidikan, cara berpikir, dan hubungan antara sains, teknologi, serta masyarakat. Dengan demikian, integrasi PjBL dalam bahan ajar digital terbukti mampu meningkatkan kemampuan literasi sains siswa secara menyeluruh.

Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data *pretest* dan *posttest* pada kelas kontrol dan eksperimen berdistribusi normal. Pengujian menggunakan uji Shapiro-Wilk dengan batas signifikansi 0,05. Jika nilai signifikansi $> 0,05$, maka data dianggap berdistribusi normal. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai signifikansi pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas

Kelas	Nilai Signifikansi (p)	Batas p	kriteria
<i>Pretest</i> X-1 (Kontrol)	0,155	0,05	Normal
<i>Posttest</i> X-1 (Kontrol)	0,156	0,05	Normal
<i>Pretest</i> X-3 (Eksperimen)	0,169	0,05	Normal
<i>Posttest</i> X-3 (Eksperimen)	0,142	0,05	Normal

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai signifikansi *pretest* dan *posttest* pada kedua kelas $> 0,05$, sehingga data berdistribusi normal. Oleh karena itu, analisis lanjutan seperti uji N-Gain dan uji-t dapat dilakukan untuk mengukur peningkatan hasil belajar setelah pembelajaran.

Uji N-Gain

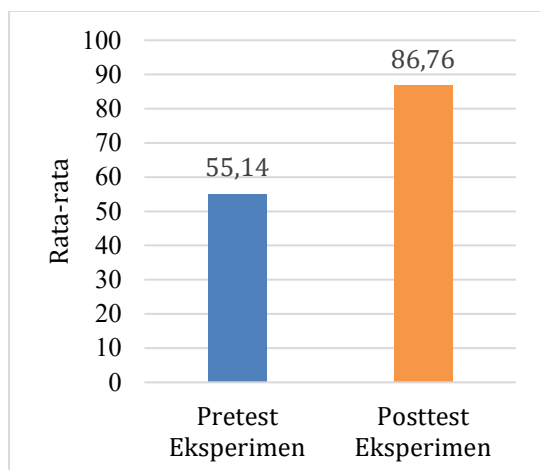
Uji N-Gain dilakukan untuk mengetahui peningkatan literasi sains aspek kognitif setelah diberikan perlakuan pada kelas eksperimen dan kontrol. Nilai N-Gain dihitung berdasarkan selisih *pretest* dan *posttest*. Hasil uji N-Gain tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji N-Gain

Data	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
Skor rata-rata <i>pretest</i>	55,14	63,38
Skor rata-rata <i>posttest</i>	86,76	84,11
Hasil uji N-Gain	0,7002	0,5494
Kriteria	Sedang	Sedang

Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan literasi sains pada kelas eksperimen berada dalam kategori sedang dan lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol yang juga berada dalam kategori sedang,

namun dengan rata-rata yang lebih rendah. Grafik yang menggambarkan peningkatan literasi sains pada *pretest* dan *posttest* di kelas eksperimen, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Peningkatan Literasi Sains Kelas Eksperimen

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan peningkatan rata-rata skor kelas eksperimen dari pretest ke posttest, dengan hasil posttest lebih tinggi secara signifikan. Rata-rata N-Gain kelas eksperimen sebesar 70,02%, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang sebesar 54,94%, meskipun keduanya berada pada kategori sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa bahan ajar digital berbasis Project Based Learning (PjBL) lebih efektif dalam meningkatkan literasi sains, terutama dalam pengembangan berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah siswa.

Uji-t

Uji-t berpasangan atau *paired t-test* digunakan untuk membandingkan hasil *pretest* dan *posttest* guna melihat apakah terdapat peningkatan yang signifikan setelah perlakuan diberikan. Kriteria hipotesis uji-t:

- H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan antara pretest dan posttest, sehingga bahan ajar digital berbasis Project Based Learning (PjBL) tidak berpengaruh terhadap peningkatan literasi sains siswa.
- H_a : Terdapat perbedaan signifikan antara pretest dan posttest, sehingga bahan ajar digital berbasis Project Based Learning (PjBL) berpengaruh terhadap peningkatan literasi sains siswa.

Hasil uji-t berpasangan terhadap data *pretest* dan *posttest* yang diperoleh tertera pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji-t Berpasangan

Data	t-hitung	Sig (p-value)
Pretest-Posttest	17,686	<0,001

Hasil uji pada Tabel 4 menunjukkan nilai t-hitung $17,686 > t\text{-tabel } 1,978$ dan $p\text{-value} < 0,001$, sehingga H_0 ditolak. Ini membuktikan bahwa terdapat peningkatan signifikan antara pretest dan posttest, yang menunjukkan bahwa penggunaan bahan ajar digital berbasis PjBL efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa kelas X pada materi energi terbarukan.

Penelitian ini menggunakan *pretest* dan *posttest* untuk mengukur peningkatan literasi sains siswa setelah mengikuti pembelajaran berbasis *Project Based Learning* (PjBL) pada materi energi terbarukan. *Pretest* dilakukan untuk mengukur pengetahuan awal siswa, sementara *posttest* diberikan untuk menilai perkembangan pengetahuan dan keterampilan siswa setelah pembelajaran. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada literasi sains siswa. Sebelum pembelajaran, mayoritas siswa memiliki pemahaman terbatas mengenai konsep-konsep energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya, angin, dan biogas. Namun, setelah pembelajaran berbasis PjBL, yang melibatkan berbagai media, termasuk *e-book*, video, dan diskusi kelompok, siswa menunjukkan peningkatan dalam pemahaman konsep-konsep dasar dan kemampuannya mengaitkan konsep-konsep tersebut dengan isu nyata, seperti krisis energi.

Akbar (2017) menyatakan bahwa *pretest* dan *posttest* efektif untuk mengukur perubahan dalam pemahaman siswa. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa materi ajar berbasis PjBL efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa. Afriana *et al.* (2021) mendukung temuan ini, dengan menunjukkan bahwa PjBL meningkatkan literasi sains, termasuk pemahaman tentang energi terbarukan. Penggunaan aplikasi seperti Book Creator untuk mengembangkan bahan ajar digital juga terbukti meningkatkan interaktivitas dan kualitas pembelajaran IPA (Kaamilah *et al.*, 2023).

Salah satu fitur penting dalam bahan ajar digital ini adalah video interaktif yang

mendukung pemahaman konsep-konsep secara visual. Video, seperti yang menggambarkan pembangkit listrik tenaga surya, membantu siswa menghubungkan konsep-konsep abstrak dengan aplikasi nyata (Demirkan, 2019). Video juga mendukung diskusi dan proyek yang menghubungkan sains, teknologi, dan masyarakat, yang memperkaya literasi sains siswa. Hidayaturohman *et al.* (2017) menekankan bahwa media visual, seperti video, meningkatkan daya tarik dan interaktivitas dalam pembelajaran.

Bahan ajar digital berbasis PjBL juga meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa, yang penting dalam pembelajaran sains (Suryanti *et al.*, 2023). Pendekatan ini mendorong siswa untuk mengembangkan keterampilan argumentasi dalam diskusi kelompok, yang merupakan bagian penting dari literasi sains (Fadlika *et al.*, 2022). Melalui proyek yang menantang, siswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mengaplikasikannya dalam kehidupan nyata.

Secara keseluruhan, pengembangan bahan ajar digital berbasis PjBL efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa, terutama dalam memahami energi terbarukan. Metode ini membantu siswa memperoleh pengetahuan teoritis dan keterampilan praktis yang berguna dalam kehidupan sehari-hari, sejalan dengan temuan Achmad *et al.* (2022) bahwa PBL mengembangkan keterampilan abad ke-21, termasuk literasi sains. Oleh karena itu, penerapan PjBL sangat dianjurkan sebagai pendekatan inovatif untuk meningkatkan literasi sains siswa.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah simpulan yang menjawab rumusan masalah dalam penelitian ini.

1. Tahapan pengembangan bahan ajar digital berbasis PjBL dilakukan melalui lima tahapan model ADDIE. Proyek yang digunakan seperti pembuatan poster dan

penyelidikan energi terbarukan, sesuai karakteristik PjBL.

2. Karakteristik bahan ajar digital berbasis PjBL yang dikembangkan menunjukkan integrasi antara konten ilmiah dan pendekatan proyek kontekstual, mencakup video, simulasi, LKPD, dan tugas proyek. Penilaian literasi sains: pengetahuan (88,73%), metode penyelidikan (60,67%), cara berpikir (14,39%), dan hubungan sains-teknologi-masyarakat (77,05%).
3. Kelayakan bahan ajar dinilai oleh tiga validator dengan hasil sangat layak: isi (86,66%), penyajian (91,11%), bahasa (80,55%), grafis (90,47%), dan literasi sains (88,45%). Bahan ajar memenuhi standar kualitas dari sisi konten dan tampilan.
4. Kepraktisan bahan ajar diuji melalui angket siswa dan memperoleh skor rata-rata 78,01%, dengan indikator tertinggi pada keterkaitan dengan kehidupan sehari-hari (84,55%), fleksibilitas belajar (83,82%), dan desain menarik (79,41%). Ini menunjukkan bahan ajar praktis digunakan dan mendukung kemandirian belajar.
5. Peningkatan literasi sains siswa setelah menggunakan bahan ajar digital berbasis PjBL terbukti signifikan. Nilai *pretest* meningkat dari 55,14 menjadi 86,76 (N-Gain 70,02%) pada kelas eksperimen, dibandingkan kelas kontrol yang naik dari 63,38 ke 84,11 (N-Gain 54,94%). Uji-*t* menunjukkan *t*-hitung 17,686 dengan $p < 0,001$, menandakan perbedaan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad N., & Djoko A. W. (2022). *Metode Penelitian Pengembangan Bidang Pembelajaran*. Pascal Books.
- Afiana, J., Permanasari, A., & Fitriani, A. (2021). Penerapan *project based learning* terintegrasi STEM untuk meningkatkan literasi sains siswa ditinjau dari gender. *Jurnal inovasi Pendidikan IPA*, 2(2), 202-212.

- Akbar, S. 2017. *Instrumen Perangkat Pembelajaran*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Astutik, F. I. (2021). Efektifitas perangkat pembelajaran fisika model *Project Based Learning* (PjBL) untuk meningkatkan keterampilan proses sains materi elastisitas. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, 9(3), 64-71.
- Asyhari, A. (2020). Profil peningkatan kemampuan literasi sains siswa melalui pembelajaran saintifik. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 4(2), 179-191.
- Chiappetta, E. L., Sethna, G. H., & Fillman, D. A. (1993). Do middle school life science textbooks provide a balance of scientific literacy themes? *Journal of research in science teaching*, 30(7), 787-797.
- Demirkan, O. (2019). Pre-service teachers' views about digital teaching materials. *Educational Policy Analysis and Strategic Research*, 14(1), 40-60.
- Fadlika, R., Hernawati, D., & Meylani, V. (2022). Kemampuan argumentasi dan kemampuan literasi sains peserta didik kelas XI MIPA pada materi sel. *LENSA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA*, 12(1), 9-18.
- Hardjo, F. N., Permasari, A., & Permana, I. (2018). Meningkatkan literasi sains siswa kelas 7 melalui pembelajaran inkuiri menggunakan bahan ajar berbasis proyek pada materi energi. *Journal of Science Education and Practice*, 2(2), 54-63.
- Hardiyantari, O. (2020). Pengembangan multimedia pembelajaran interaktif menggunakan teknik dinamis pada mata pelajaran Produktif Teknik Komputer dan jaringan untuk siswa SMK kelas X. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 4(1), 77-83.
- Hidayaturrohmah, R., Lesmono, A. D., & Prihandono, T. (2017). Pengembangan bahan ajar interaktif fisika berwawasan SETS untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Seminar nasional pendidikan Fisika 2017*, 2(1), 1-9.
- <https://prosiding.jurnal.unej.ac.id/index.php/fkip-epro/article/view/6369>
- Kaamilah, S., Usman, H., & Sari, Y. (2023). Pengembangan bahan ajar digital interaktif berbasis inkuiri pada mata pelajaran IPA kelas V sekolah dasar. *DIDAKTIKA: Jurnal Pendidikan Sekolah Dasar*, 6(2), 77-90.
- Pujiati, A. (2019). Peningkatan literasi sains dengan pembelajaran stem di era revolusi industri 4.0. *Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika 2019*, 5(1), 547-554.
- Pursitasari, I. D., Suhardi, E., Ardianto, D., & Arif, A. (2019). Pengembangan bahan ajar bermuatan konteks kelautan untuk meningkatkan literasi sains siswa. *JUPI (Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA)*, 3(2), 88-105.
- Rahayu, L. D. 2018. Pengembangan bahan ajar fisika berbasis *collaborative problem solving* untuk peningkatan kemandirian belajar dan kemampuan berpikir kreatif. *Unnes Physics Education Journal*.
- Sari, D. N. A., Rusilowati, A., & Nuswowati, M. (2020). Pengaruh pembelajaran berbasis proyek terhadap kemampuan literasi sains siswa. *PSEJ (Pancasakti Science Education Journal)*, 2(2), 114-124.
- Srikawati, N. K. A., & Suarjana, I. M. (2022). Lembar kerja elektronik berbasis *project based learning* pada muatan pelajaran IPA. *Jurnal Pedagogi dan Pembelajaran*, 5(2), 276-284.
- Sugiyono. 2019. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Suryanti, S., & Arsid, I. (2023). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis E-Book Menggunakan Aplikasi Book Creator Pada Materi Persamaan Lingkaran. *ELIPS: Jurnal Pendidikan Matematika*, 4(2), 167-179.
- Widayoko, A., Latifah, E., & Yulianti, L. (2018). *Peningkatan kompetensi literasi saintifik siswa SMA dengan bahan ajar terintegrasi STEM pada materi impuls dan momentum* (Doctoral dissertation, State

University of Malang).

Yuliani, A., Nugraha, Y., & Samura, A. O. (2024). Pengaruh penggunaan pembelajaran berbasis proyek terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika pada siswa sekolah menengah atas. *Ulul Albab: Majalah Universitas Muhammadiyah Mataram*, 28(1), 15-19.

Zubaidah, S. (2019, 19 September). *STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics): Pembelajaran untuk memberdayakan keterampilan abad ke-21*. Dalam Seminar Nasional Matematika dan Sains dengan tema *STEAM Terintegrasi Kearifan Lokal dalam Menghadapi Era Revolusi Industri 4.0*, FKIP Universitas Wiralodra, Indonesia, 1-18.

