

PENGEMBANGAN *AIR PURIFIER* BERBANTUAN IoT, SINAR UVC, DAN HEPA FILTER SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN IPA BERBASIS PjBL-STEAM UNTUK INVESTIGASI KUALITAS UDARA PADA MATERI PENCEMARAN UDARA

Ana Zuyyina Ulfah^{1*}, Moh. Indi Stefani², Eko Hariyono³, Beni Setiawan⁴

^{1,3,4}Pendidikan Sains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

²Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Fakultas Bisnis dan Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi

*E-mail: annazuy203@gmail.com

Abstrak

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang berdampak terhadap kesehatan manusia dan kualitas lingkungan. Pembelajaran IPA pada materi pencemaran udara masih didominasi penyampaian konsep secara teoritis sehingga peserta didik belum memperoleh pengalaman belajar yang kontekstual dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan permasalahan lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi kelayakan *Air Purifier* berbantuan teknologi IoT, sinar UVC, dan HEPA Filter sebagai media pembelajaran berbasis PjBL-STEAM yang memfasilitasi investigasi kualitas udara pada materi pencemaran udara. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang meliputi tahap *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*. Subjek penelitian terdiri atas tiga validator (ahli materi, ahli media, dan guru IPA) serta 90 peserta didik kelas VIII MTs Darul Ulum yang terlibat pada tahap *implementation* (uji coba produk skala luas) dan dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Data dikumpulkan melalui lembar validasi, observasi keterlaksanaan pembelajaran, angket respons peserta didik, dan hasil praktik pengukuran kualitas udara. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan persentase kelayakan dan didukung analisis deskriptif kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media memperoleh nilai validasi rata-rata sebesar 95,6% dengan kategori sangat layak, keterlaksanaan pembelajaran sebesar 94,3% dengan kategori sangat baik, dan respons peserta didik sebesar 95,3% dengan kategori sangat baik. Hasil praktik menunjukkan adanya penurunan konsentrasi PM_{2.5} sebesar 58,3%, PM₁₀ sebesar 56,7%, CO₂ sebesar 33,4%, dan NH₃ sebesar 58,6% setelah penggunaan *Air Purifier*. Implementasi media melalui model PjBL-STEAM memberikan pengalaman belajar yang kontekstual melalui kegiatan investigasi, pengukuran kualitas udara, analisis data, serta pengembangan produk proyek berupa poster digital, infografis, dan presentasi ilmiah sebagai solusi terhadap permasalahan pencemaran udara. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM layak digunakan sebagai media pembelajaran yang memfasilitasi investigasi kualitas udara serta berpotensi mendukung pengembangan literasi sains dan keterampilan abad ke-21.

Kata Kunci: Air Purifier, PjBL-STEAM, IoT, Media investigasi, Pencemaran Udara

Abstract

Air pollution is an environmental issue that impacts both human health and environmental quality. Science instruction regarding air pollution remains dominated by theoretical concept delivery, leaving students without contextual learning experiences in identifying and resolving environmental problems. This study aimed to develop and evaluate the feasibility of an air purifier incorporating IoT technology, UVC light, and HEPA filters as a PjBL-STEAM-based learning medium to facilitate air quality investigations within the air pollution curriculum. The study employed the Research and Development (R&D) method using the ADDIE model, comprising the Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation stages. Participants included three validators (a subject matter expert, a media expert, and a science teacher) and 90 eighth-grade students from MTs Darul Ulum who took part in the implementation stage (large-scale product trial) and were selected via purposive sampling. Data were collected through validation sheets, observations of lesson implementation, student response questionnaires, and results from practical air quality measurements. Data were analyzed using quantitative descriptive statistics (feasibility percentages)

supported by qualitative descriptive analysis. The results showed that the medium achieved an average validation score of 95.6% (highly feasible category), a lesson implementation rate of 94.3% (excellent category), and a student response rate of 95.3% (excellent category). Practical results demonstrated reductions in pollutant concentrations following the use of the air purifier: PM_{2.5} by 58.3%, PM₁₀ by 56.7%, CO₂ by 33.4%, and NH₃ by 58.6%. Implementing the medium through the PjBL-STEAM model provided contextual learning experiences involving investigation, air quality measurement, data analysis, and the development of project outputs such as digital posters, infographics, and scientific presentations as solutions to air pollution issues. The study concludes that the PjBL-STEAM-based air purifier is a feasible learning medium for facilitating air quality investigations and holds the potential to support the development of scientific literacy and 21st-century skills..

Keywords: Air Purifier, PjBL-STEAM, IoT, Investigative media, Air Pollution

How to cite: Ulfah, A. Z., Stefani, M. I., Hariyono, E., & Setiawan, B. (2026). Pengembangan Air Purifier Berbantuan IoT, Sinar UVC, dan Hepa Filter sebagai Media Pembelajaran IPA Berbasis PjBL-STEAM untuk Investigasi Kualitas Udara pada Materi Pencemaran Udara. *Pensa E-Jurnal: Pendidikan Sains*, 14(2). pp. 118-128.

© 2026 Universitas Negeri Surabaya

PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan global yang berdampak signifikan terhadap kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem (Putro *et al.*, 2024). Menurut *World Health Organization* (WHO), paparan polutan udara menjadi salah satu faktor risiko utama berbagai penyakit pernapasan, kardiovaskular, hingga kematian dini (Amelia *et al.*, 2025). Pencemaran udara tidak hanya terjadi di lingkungan luar akibat emisi kendaraan dan aktivitas industri, tetapi juga di dalam ruangan (*indoor air pollution*) yang bersumber dari asap rokok, aktivitas memasak, penggunaan bahan kimia, serta mikroorganisme di udara (Parisu & Saputra, 2025). Kondisi tersebut menjadikan kualitas udara sebagai isu penting yang perlu dipahami peserta didik agar mampu mengenali permasalahan lingkungan sekaligus mengembangkan solusi yang relevan dalam kehidupan sehari-hari.

Pembelajaran IPA memiliki peran strategis dalam membekali peserta didik dengan pengetahuan, keterampilan, dan sikap ilmiah untuk memahami berbagai fenomena lingkungan (Kumala *et al.*, 2024). Faktanya pembelajaran IPA di sekolah masih didominasi penyampaian konsep secara teoritis sehingga peserta didik kurang memperoleh pengalaman belajar yang menghubungkan materi dengan permasalahan nyata. Misalnya pengetahuan konsep pencemaran udara yang sering dipahami sebatas hafalan tanpa diikuti kemampuan menganalisis penyebab maupun merancang solusi berbasis sains dan teknologi (Purnawati & Yakin, 2025). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya media investigasi yang mampu menghadirkan pengalaman belajar kontekstual, interaktif, dan berpusat pada peserta didik.

Salah satu model pembelajaran yang mampu memfasilitasi pengalaman belajar tersebut adalah *Project Based Learning* (PjBL). Model PjBL menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran melalui kegiatan penyelidikan, perancangan produk, pengujian, serta refleksi terhadap solusi yang dihasilkan (Setiawan *et al.*, 2025). Penerapan PjBL menjadi semakin optimal apabila dipadukan dengan pendekatan *Science, Technology,*

Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM). Integrasi PjBL-STEAM memungkinkan peserta didik mengembangkan pemahaman konseptual sekaligus keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, dan pemecahan masalah melalui penyelesaian permasalahan autentik (Hendra *et al.*, 2020).

Media pembelajaran yang relevan untuk mendukung implementasi PjBL-STEAM pada materi pencemaran udara adalah *Air Purifier* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi HEPA Filter dan sinar UVC. HEPA Filter mampu menyaring partikel halus seperti PM_{2.5} dan PM₁₀, sedangkan sinar UVC berfungsi menonaktifkan mikroorganisme melalui kerusakan materi genetiknya (Dan *et al.*, 2022). Integrasi teknologi IoT memungkinkan kualitas udara dipantau secara *real-time* melalui parameter PM_{2.5}, PM₁₀, karbon dioksida (CO₂), dan amonia (NH₃). Karakteristik tersebut menjadikan Air Purifier tidak hanya berfungsi sebagai perangkat peningkat kualitas udara, tetapi juga sebagai media pembelajaran yang memungkinkan peserta didik melakukan investigasi ilmiah berdasarkan data nyata (Aryanta & Shinta, 2025).

Implementasi *Air Purifier* dalam pembelajaran PjBL-STEAM memungkinkan integrasi lima komponen STEAM secara utuh. Aspek *Science* diwujudkan melalui kajian konsep pencemaran udara dan dampaknya terhadap kesehatan. Aspek *Technology* diimplementasikan melalui penggunaan sensor kualitas udara dan sistem IoT. Aspek *Engineering* diwujudkan melalui pemahaman prinsip kerja *Air Purifier* sebagai solusi rekayasa terhadap pencemaran udara. Aspek *Arts* diwujudkan melalui kegiatan peserta didik dalam merancang visualisasi hasil pengukuran kualitas udara dalam bentuk infografis digital, poster kampanye lingkungan, penyusunan presentasi yang komunikatif, serta memperhatikan aspek estetika penyajian data dan desain antarmuka sistem monitoring IoT sehingga informasi kualitas udara lebih mudah dipahami pengguna. Aspek *Mathematics* diwujudkan melalui kegiatan pengukuran, pengolahan, interpretasi, dan penyajian data kualitas udara. Integrasi tersebut memberikan pengalaman belajar yang autentik sekaligus

mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 (Khotijah *et al.*, 2026).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan *Air Purifier* berbasis IoT dengan teknologi HEPA Filter dan UVC untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Penelitian Firdaus *et al.*, (2025) menunjukkan bahwa kombinasi teknologi tersebut efektif dalam menurunkan konsentrasi polutan udara serta meningkatkan efisiensi pemantauan kualitas udara secara *real-time*. Penelitian Sumampouw, (2025) mengembangkan *Air Purifier* berbasis sensor kualitas udara dan mikrokontroler yang mampu memonitor parameter PM2.5 dan PM10 secara daring dengan tingkat akurasi yang baik. Penelitian Zahro *et al.*, (2025) juga melaporkan bahwa integrasi sensor gas dan platform IoT memungkinkan pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan sehingga membantu pengguna mengambil tindakan preventif terhadap pencemaran udara. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengembangan *Air Purifier* berbasis IoT telah berkembang pesat dan efektif sebagai solusi teknis untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan.

Kajian yang mengintegrasikan *Air Purifier* sebagai media pembelajaran dengan model PjBL-STEAM masih sangat terbatas (Nugraha & Victor, 2022). Sebagian besar penelitian berorientasi pada performa teknis perangkat, sedangkan potensinya dalam mendukung pembelajaran IPA yang kontekstual belum banyak dieksplorasi. Media tersebut juga dimanfaatkan untuk memfasilitasi peserta didik melakukan investigasi kualitas udara, menganalisis data hasil pengukuran, mengevaluasi efektivitas teknologi, serta merumuskan solusi terhadap permasalahan pencemaran udara. Hasil investigasi tersebut selanjutnya menjadi dasar bagi peserta didik untuk mengembangkan produk proyek berupa media kampanye lingkungan yang mengomunikasikan rekomendasi pengendalian pencemaran udara berdasarkan bukti ilmiah (Qonitah *et al.*, 2022).

Kebaruan penelitian ini tidak hanya terletak pada pengembangan *Air Purifier* berbasis IoT, HEPA Filter, dan sinar UVC sebagai media pembelajaran IPA, tetapi juga pada integrasinya ke dalam sintaks *Project Based Learning* (PjBL)-STEAM. Dalam implementasinya, *Air Purifier* berfungsi sebagai media investigasi yang dikembangkan oleh peneliti untuk memperoleh data kualitas udara secara *real-time*, sedangkan proyek yang dikerjakan peserta didik berfokus pada pengembangan solusi terhadap permasalahan pencemaran udara berbasis data hasil investigasi. Melalui tahapan PjBL, peserta didik mengidentifikasi permasalahan kualitas udara di lingkungan sekolah, merancang rencana investigasi, melakukan pengukuran menggunakan *Air Purifier*, menganalisis dan menginterpretasikan data, kemudian menghasilkan produk proyek berupa poster digital, infografis, dan presentasi ilmiah sebagai media kampanye edukasi lingkungan. Dengan demikian, *Air Purifier* tidak hanya digunakan sebagai alat praktikum, tetapi menjadi sarana pendukung pembelajaran berbasis proyek yang menghasilkan produk autentik sebagai solusi terhadap permasalahan lingkungan serta memperkuat literasi sains dan keterampilan abad ke-21 (Tandhim, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM dengan IoT, sinar UVC, dan HEPA Filter sebagai media pembelajaran IPA pada materi pencemaran udara. Penelitian ini difokuskan untuk menghasilkan media yang layak digunakan, mendeskripsikan proses pengembangannya, serta mengkaji potensinya dalam mendukung pembelajaran IPA yang kontekstual dan bermakna.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan *Research and Development* (R&D) yang bertujuan mengembangkan *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM dengan teknologi IoT, sinar UVC, dan HEPA Filter sebagai media pembelajaran IPA pada materi pencemaran udara. Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE yang terdiri atas lima tahap, yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation* (Rahma & Nurul, 2024).

Tahap *Analysis* dilakukan melalui analisis capaian pembelajaran, karakteristik peserta didik, kebutuhan media, serta kajian materi pencemaran udara. Tahap *Design* meliputi perancangan media *Air Purifier*, penyusunan modul ajar, LKPD berbasis PjBL-STEAM, instrumen penelitian, serta desain perangkat keras dan perangkat lunak. Tahap *Development* dilakukan melalui pembuatan prototipe media *Air Purifier* menggunakan model *Project Based Learning* (PjBL) terintegrasi STEAM. Pada tahap ini *Air Purifier* digunakan sebagai media investigasi untuk memperoleh data kualitas udara. Peserta didik secara berkelompok melakukan investigasi, menganalisis hasil pengukuran, kemudian mengembangkan produk proyek berupa poster digital, infografis, dan presentasi ilmiah sebagai media kampanye lingkungan berbasis data hasil investigasi. Tahap *Evaluation* dilakukan untuk mengetahui kualitas media yang dikembangkan berdasarkan hasil validasi ahli, keterlaksanaan pembelajaran, respons peserta didik, serta hasil praktik penggunaan media.

Subjek penelitian terdiri atas tiga validator yang meliputi ahli materi, ahli media, dan guru IPA, serta 90 peserta didik kelas VIII MTs Darul Ulum yang terlibat pada tahap *implementation* (uji coba produk skala luas) dalam model ADDIE. Peserta didik dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*, dengan mempertimbangkan kesesuaian materi pencemaran udara yang sedang dipelajari, karakteristik peserta didik, serta ketersediaan sarana pendukung implementasi pembelajaran berbasis PjBL-STEAM (Hendra *et al.*, 2020).

Perangkat yang digunakan dalam pengembangan media meliputi Arduino Uno R3, NodeMCU ESP8266, sensor PM2.5/PM10, sensor MQ-135, HEPA Filter, lampu UVC, LCD Display, *exhaust fan*, serta laptop untuk pemrograman sistem. Bahan yang digunakan meliputi

akrilik, kabel jumper, breadboard, adaptor daya, serta komponen elektronika pendukung lainnya.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui validasi ahli, observasi keterlaksanaan pembelajaran, hasil praktik pengukuran kualitas udara, angket respons peserta didik, dan dokumentasi. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi media, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, lembar observasi hasil praktik, dan angket

respons peserta didik. Selama implementasi pembelajaran, peserta didik melakukan pengukuran kualitas udara pada tiga lokasi, yaitu ruang kelas, laboratorium IPA, dan perpustakaan, dengan mengamati parameter PM_{2.5}, PM₁₀, karbon dioksida (CO₂), dan amonia (NH₃) sebelum dan sesudah penggunaan *Air Purifier*. Berikut indikator-indikator instrumen pada penelitian yang disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Indikator Validasi Media

No.	Aspek Penilaian	Indikator
1	Kesesuaian materi	Kesesuaian materi dengan capaian dan tujuan pembelajaran IPA
		Kebenaran konsep pencemaran udara
		Kesesuaian materi dengan pendekatan STEAM
2	Tampilan media	Kemenarikan desain media
		Kesesuaian tata letak komponen
		Kualitas visual dan estetika media
3	Kualitas teknis	Kemudahan penggunaan media
		Keamanan penggunaan alat Fungsi komponen IoT, UVC, dan HEPA Filter berjalan dengan baik
4	Integrasi PjBL-STEAM	Kesesuaian media dengan sintaks <i>Project Based Learning</i> (PjBL).
		Ketepatan penerapan unsur <i>Science</i> dalam kegiatan pembelajaran.
		Ketepatan penerapan unsur <i>Technology</i> melalui penggunaan IoT dan sensor.
		Ketepatan penerapan unsur <i>Engineering</i> melalui pemanfaatan <i>Air Purifier</i> sebagai solusi rekayasa
		Ketepatan penerapan unsur <i>Arts</i> melalui desain produk dan penyajian hasil proyek
5	Kemanfaatan	Ketepatan penerapan unsur <i>Mathematics</i> melalui pengukuran dan analisis data kualitas udara.
		Media mendukung pembelajaran IPA materi pencemaran udara
		Media membantu peserta didik memahami konsep secara kontekstual
		Media mendukung pembelajaran berbasis proyek dan pemecahan masalah

Tabel 2. Indikator Observasi Keterlaksanaan Pembelajaran PjBL-STEAM

No.	Aspek Pengamatan	Indikator
1	Menentukan Pertanyaan Mendasar	Guru menyajikan fenomena pencemaran udara sebagai masalah kontekstual.
		Guru memotivasi peserta didik mengidentifikasi permasalahan kualitas udara di lingkungan sekitar.
		Peserta didik merumuskan pertanyaan mendasar terkait pencemaran udara dan solusi yang akan dikembangkan
2	Mendesain Perencanaan Proyek	Guru menjelaskan tujuan, prosedur, dan luaran proyek.
		Peserta didik menyusun rancangan investigasi kualitas udara menggunakan Air Purifier sebagai media investigasi.
		Peserta didik menentukan lokasi pengukuran, parameter kualitas udara yang akan diamati, merancang produk proyek berupa poster digital, infografis, atau presentasi ilmiah sebagai media kampanye.
3	Menyusun jadwal dan pembagian tugas	Peserta didik menyusun pembagian tugas dalam kelompok.
		Peserta didik menyusun jadwal pelaksanaan kegiatan proyek.
		Guru memfasilitasi penyusunan jadwal dan memberikan arahan.
4	Memonitor Kemajuan Proyek	Peserta didik mengoperasikan media Air Purifier sesuai prosedur
		Peserta didik melakukan pengukuran kualitas udara pada lokasi yang telah ditentukan
		Peserta didik mencatat data PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO ₂ , dan NH ₃ sebelum dan sesudah penggunaan Air Purifier.
		Peserta didik mulai mengolah data hasil pengukuran sebagai dasar penyusunan poster digital, infografis, atau presentasi ilmiah..
		Guru membimbing dan memonitor pelaksanaan proyek
5	Menguji Hasil Proyek	Peserta didik mengolah dan menginterpretasikan data hasil pengukuran kualitas udara
		Peserta didik mengevaluasi efektivitas penggunaan Air Purifier berdasarkan data yang diperoleh
		Peserta didik menyempurnakan produk proyek berupa poster digital, infografis, atau presentasi ilmiah berdasarkan hasil analisis data.
		Peserta didik menarik kesimpulan berdasarkan hasil investigasi
6	Mengevaluasi Pengalaman Belajar	Peserta didik mempresentasikan produk proyek berupa poster digital, infografis, atau media kampanye lingkungan.
		Peserta didik memberikan tanggapan terhadap hasil kelompok lain..
		Guru bersama peserta didik melakukan refleksi terhadap proses dan hasil pembelajaran.
7	Implementasi Science	Peserta didik menjelaskan konsep pencemaran udara dan kualitas udara berdasarkan hasil pengamatan.
		Peserta didik mengaitkan hasil pengukuran dengan konsep IPA yang dipelajari.
8	Implementasi	Peserta didik memanfaatkan sensor kualitas udara dan sistem IoT untuk memperoleh data secara

	Technology	<i>real-time</i> .
		Peserta didik memahami fungsi teknologi yang digunakan pada Air Purifier.
9	Implementasi Engineering	Peserta didik memahami prinsip kerja Air Purifier sebagai solusi rekayasa terhadap pencemaran udara.
		Peserta didik menggunakan media sesuai prosedur kerja yang benar.
10	Implementasi Arts	Peserta didik menyajikan hasil proyek dalam bentuk presentasi yang sistematis dan menarik.
		Peserta didik menunjukkan kreativitas dalam penyampaian hasil proyek.
11	Implementasi Mathematics	Peserta didik melakukan pengukuran parameter PM2.5, PM10, CO ₂ , dan NH ₃ dengan benar.
		Peserta didik mengolah, membandingkan, dan menginterpretasikan data hasil pengukuran menggunakan tabel atau grafik

Tabel 3. Indikator Angket Respons Peserta Didik

No	Aspek Penilaian	Indikator
1	Kemenarikan	Tampilan media menarik Proyek Air Purifier menarik untuk dipelajari
2	Kemudahan Penggunaan	Media mudah digunakan Petunjuk penggunaan mudah dipahami
3	Kebermanfaatan	Membantu memahami materi pencemaran udara Membantu menghubungkan teori dengan kehidupan nyata
4	Motivasi Belajar	Meningkatkan minat belajar IPA Mendorong keaktifan dalam pembelajaran
5	Integrasi PjBL-STEAM	Membantu memahami hubungan sains dan teknologi Melatih kreativitas dan pemecahan masalah
6	Kepuasan Pengguna	Media layak digunakan dalam pembelajaran IPA Peserta didik tertarik menggunakan media pada pembelajaran berikutnya

Data proses pengembangan dianalisis secara deskriptif kualitatif berdasarkan tahapan model ADDIE (Andini, 2024). Data hasil validasi ahli, observasi keterlaksanaan pembelajaran, dan respons peserta didik dianalisis menggunakan statistik deskriptif kuantitatif berupa persentase kelayakan. Berikut rumus persentase kelayakan media:

$$P = \frac{\sum X}{\sum X_i} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

P = persentase kelayakan;

$\sum X$ = jumlah skor yang diperoleh;

$\sum X_i$ = jumlah skor maksimum.

Persentase yang diperoleh kemudian diinterpretasikan berdasarkan kategori kelayakan media sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria Interpretasi

Persentase (%)	Kategori
81 - 100	Sangat Layak/Sangat Baik
61 - 80	Layak/Baik
41 - 60	Cukup Layak/Cukup Baik
21 - 40	Kurang Layak/Kurang Baik
0 - 20	Tidak Layak/Tidak Baik

(Riduwan, 2020)

Media dinyatakan layak/baik digunakan apabila memperoleh kategori minimal layak/baik ($\geq 61\%$) (Akbar, 2017). Data hasil praktik peserta didik dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil pengukuran parameter polutan udara sebelum dan sesudah penggunaan *Air Purifier*. Potensi media dalam mendukung pembelajaran IPA berbasis PjBL-STEAM

dikaji berdasarkan keterlaksanaan sintaks PjBL, keterpaduan komponen STEAM selama pembelajaran, kemampuan peserta didik dalam melakukan pengukuran dan analisis kualitas udara, serta respons peserta didik terhadap penggunaan media (Kadir *et al.*, 2024).

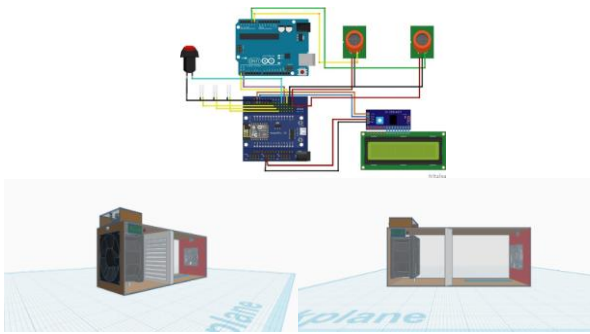
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan Air Purifier Berbasis PjBL-STEAM

Pengembangan media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM dilakukan menggunakan model ADDIE yang terdiri atas lima tahap, yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Model ini dipilih karena memberikan tahapan pengembangan yang sistematis, mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi produk, sehingga media yang dihasilkan tidak hanya memenuhi aspek teknis, tetapi juga aspek pedagogis sebagai media pembelajaran IPA (Safitri & Aziz, 2022).

Pada tahap *analysis*, dilakukan analisis capaian pembelajaran, karakteristik peserta didik, materi pencemaran udara, serta kebutuhan media pembelajaran melalui observasi dan wawancara dengan guru IPA (Annisa *et al.*, 2022). Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran masih didominasi penyampaian konsep secara teoritis. Oleh karena itu, dikembangkan media *Air Purifier* yang mampu menyajikan data kualitas udara secara langsung serta mendukung pembelajaran berbasis proyek.

Tahap *design* meliputi perancangan media *Air Purifier* berbasis IoT, penyusunan modul ajar, LKPD berbasis PjBL-STEAM, instrumen penelitian, serta desain perangkat keras dan perangkat lunak. Media dirancang menggunakan Arduino Uno R3, NodeMCU ESP8266, sensor PM2.5/PM10, sensor MQ-135, HEPA Filter, lampu UVC, LCD Display, dan sistem monitoring berbasis IoT.

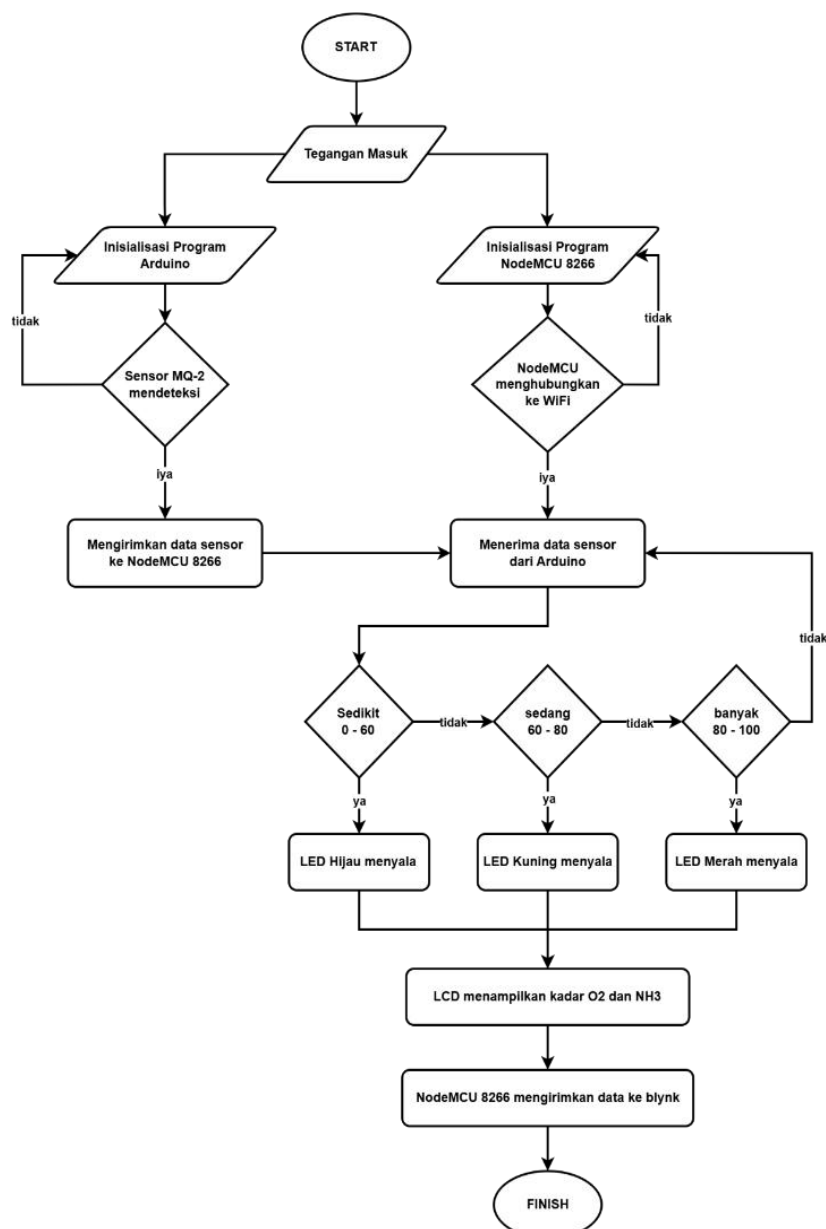


Gambar 1. Desain dan Komponen Media *Air Purifier* Berbasis IoT

Penyusunan flowchart sistem menggambarkan alur kerja media *Air Purifier* berbasis IoT, dimulai dari pembacaan data kualitas udara menggunakan sensor MQ-

135, pengolahan data oleh mikrokontroler, hingga penampilan hasil secara *real-time*. Saat kualitas udara berada di bawah standar, sistem secara otomatis mengaktifkan HEPA Filter dan sinar UVC untuk proses filtrasi dan sterilisasi. Flowchart disajikan pada Gambar 2.

Tahap *development* menghasilkan prototipe media *Air Purifier* yang mengintegrasikan teknologi IoT, HEPA Filter, dan sinar UVC sebagai media pembelajaran IPA. Media dirancang tidak hanya berfungsi meningkatkan kualitas udara, tetapi juga sebagai media investigasi yang memungkinkan peserta didik mengamati perubahan parameter PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂, dan NH₃ secara langsung. Selanjutnya dilakukan pengujian fungsional terhadap seluruh komponen untuk memastikan sistem bekerja sesuai rancangan sebelum divalidasi oleh ahli. Produk akhir air purifier disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Flowchart sistem *Air Purifier*



Gambar 3. Produk Akhir Media *Air Purifier*

Tahap *implementation* dilakukan melalui pembelajaran IPA menggunakan model PjBL yang diintegrasikan STEAM. Media digunakan oleh peserta didik untuk melakukan investigasi kualitas udara pada ruang kelas, laboratorium IPA, dan perpustakaan. Peserta didik mengukur parameter PM2.5, PM10, CO₂, dan NH₃, kemudian menganalisis hasil pengukuran sebagai dasar dalam mengembangkan produk proyek berupa poster digital, infografis, dan presentasi ilmiah yang memuat rekomendasi pengendalian pencemaran udara.

Pada tahap implementasi, *Air Purifier* tidak diposisikan sebagai produk proyek yang dibuat oleh peserta didik, melainkan sebagai media investigasi yang dikembangkan oleh peneliti untuk memfasilitasi pembelajaran berbasis proyek. Proyek yang dikerjakan peserta didik berfokus pada perancangan solusi terhadap permasalahan pencemaran udara berdasarkan data hasil pengukuran kualitas udara menggunakan *Air Purifier*. Setiap kelompok menyusun produk proyek berupa poster digital, infografis, dan presentasi ilmiah yang memuat hasil analisis kualitas udara, evaluasi efektivitas penggunaan *Air Purifier*, serta rekomendasi upaya pengendalian pencemaran udara di lingkungan sekolah. Dengan demikian, peserta didik tidak hanya melakukan pengukuran kualitas udara, tetapi juga menghasilkan produk autentik sebagai bentuk penerapan sintaks *Project Based Learning*.

Tahap *evaluation* dilakukan secara formatif melalui validasi ahli, observasi keterlaksanaan pembelajaran, analisis hasil praktik, dan angket respons peserta didik (Subali *et al.*, 2023). Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar penyempurnaan media sehingga diperoleh produk yang memenuhi aspek isi, teknis, dan pedagogis sebelum diterapkan pada pembelajaran IPA berbasis PjBL-STEAM.

Evaluasi Kelayakan dan Implementasi Media *Air Purifier*

Evaluasi kelayakan dan implementasi media dilakukan untuk mengetahui kualitas media *Air Purifier* sebagai media investigasi berbasis PjBL-STEAM pada materi pencemaran udara. Evaluasi mencakup validasi

oleh ahli, observasi keterlaksanaan pembelajaran, dan respons peserta didik setelah menggunakan media pada pembelajaran berbasis PjBL (Lestari *et al.*, 2022). Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar untuk menentukan kelayakan media sekaligus mengkaji implementasinya dalam mendukung pembelajaran IPA yang kontekstual dan bermakna.

Validasi dilakukan oleh tiga validator yang terdiri atas ahli materi, ahli media, dan guru IPA. Penilaian mencakup lima aspek, yaitu kesesuaian materi, tampilan media, kualitas teknis, implementasi PjBL-STEAM, dan kemanfaatan media (Ulfa *et al.*, 2024). Rekapitulasi hasil validasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Validasi Media *Air Purifier* Berbasis PjBL-STEAM

Aspek Penilaian	Persentase(%)	Kategori
Kesesuaian materi	94	Sangat Layak
Tampilan media	96	Sangat Layak
Kualitas teknis	95	Sangat Layak
Integrasi PjBL-STEAM	97	Sangat Layak
Kemanfaatan	97	Sangat Layak
Rata-rata	95,6	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 5, hasil validasi menunjukkan bahwa media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM memperoleh rata-rata persentase sebesar 95,6% dengan kategori sangat layak. Aspek integrasi PjBL-STEAM dan kemanfaatan memperoleh persentase tertinggi sebesar 97%, menunjukkan bahwa media mampu mengintegrasikan PjBL-STEAM serta mendukung pembelajaran yang kontekstual melalui kegiatan investigasi dan pemecahan masalah. Aspek tampilan media memperoleh persentase 96%, mengindikasikan bahwa desain media menarik, proporsional, dan mudah digunakan, sedangkan aspek kualitas teknis 95% menunjukkan seluruh komponen, seperti sensor kualitas udara, sistem IoT, HEPA Filter, dan sinar UVC, berfungsi sesuai rancangan. Aspek kesesuaian materi memperoleh persentase 94%, yang menunjukkan bahwa materi telah sesuai dengan capaian pembelajaran IPA pada materi pencemaran udara. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media memenuhi aspek isi, teknis, dan pedagogis sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran IPA berbasis PjBL-STEAM (Purnawati & Yakin, 2025).

Implementasi media diamati melalui lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran yang mengacu pada sintaks PjBL. Aspek yang diamati meliputi kegiatan pendahuluan, pelaksanaan setiap sintaks PjBL, integrasi komponen STEAM, pengelolaan pembelajaran, partisipasi peserta didik, serta kegiatan penutup (Shalehha *et al.*, 2017). Rekapitulasi hasil observasi disajikan pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6, hasil observasi keterlaksanaan pembelajaran memperoleh rata-rata persentase sebesar 94,3% dengan kategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa implementasi media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM terlaksana sesuai dengan sintaks. Aspek implementasi *Science* memperoleh persentase tertinggi sebesar 97%, diikuti penyusunan jadwal proyek 96%,

serta penentuan pertanyaan mendasar, pemantauan kemajuan proyek, dan implementasi *Engineering* masing-masing sebesar 95%. Aspek perencanaan proyek, implementasi *Technology*, dan *Mathematics* memperoleh persentase 94%, sedangkan evaluasi pengalaman belajar, implementasi *Arts*, dan pengujian hasil proyek memperoleh persentase 92–93%.

Tabel 6. Hasil Observasi Keterlaksanaan Pembelajaran

Aspek Penilaian	Persentase (%)	Kategori
Menentukan Pertanyaan Mendasar	95	Sangat Baik
Mendesain Perencanaan Proyek	94	Sangat Baik
Menyusun Jadwal Pelaksanaan Proyek	96	Sangat Baik
Memonitor Kemajuan Proyek	95	Sangat Baik
Menguji Hasil Proyek	92	Sangat Baik
Mengevaluasi Pengalaman Belajar	93	Sangat Baik
Implementasi Science	97	Sangat Baik
Implementasi Technology	94	Sangat Baik
Implementasi Engineering	95	Sangat Baik
Implementasi Arts	92	Sangat Baik
Implementasi Mathematics	94	Sangat Baik
Rata-rata	94,3	Sangat Baik

Meskipun seluruh aspek keterlaksanaan memperoleh kategori sangat baik, aspek implementasi *Arts* dan menguji hasil proyek menunjukkan persentase paling rendah, yaitu sebesar 92%. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa sebagian peserta didik masih memerlukan pendampingan dalam menyajikan hasil investigasi secara visual melalui infografis maupun saat mempresentasikan hasil proyek di depan kelas. Peserta didik jenjang SMP/MTs berada pada masa transisi menuju tahap operasional formal sehingga kemampuan mengintegrasikan data empiris ke dalam representasi visual dan mengomunikasikan hasil investigasi ilmiah masih berkembang (Piaget, 1972). Selain itu, pembelajaran berbasis proyek menuntut keterampilan komunikasi ilmiah, kreativitas, dan kolaborasi yang memerlukan pembiasaan secara berkelanjutan (Bell, 2010). Oleh karena itu, aspek *Arts* dan pengujian hasil proyek memerlukan penguatan melalui latihan visualisasi data dan presentasi ilmiah pada implementasi berikutnya (Fransiska *et al.*, 2024).

Implementasi media juga menunjukkan keterpaduan lima komponen STEAM dalam setiap tahapan pembelajaran. Aspek *Science* terlihat pada pengkajian konsep pencemaran udara dan kualitas udara. Aspek *Technology* diwujudkan melalui pemanfaatan sensor kualitas udara dan sistem IoT. Aspek *Engineering* tercermin pada pemahaman prinsip kerja Air Purifier dan proses pengoperasian media. Aspek *Arts* diwujudkan melalui penyusunan poster digital, infografis, desain visual penyajian data kualitas udara, serta presentasi ilmiah yang komunikatif sehingga peserta didik tidak hanya mampu menyampaikan hasil investigasi tetapi juga mengembangkan kreativitas dalam mengomunikasikan solusi terhadap pencemaran udara. Aspek *Mathematics* diterapkan pada pengolahan, perbandingan, dan

interpretasi data hasil pengukuran kualitas udara. Keterpaduan tersebut menunjukkan bahwa media mampu mendukung pembelajaran yang berpusat pada peserta didik melalui aktivitas investigasi dan pemecahan masalah berbasis proyek (Purnawati & Yakin, 2025).



Gambar 4. Penyajian Hasil dan Presentasi Implementasi Air Purifier dalam Pembelajaran PjBL-STEAM

Respons peserta didik dianalisis untuk mengetahui tingkat penerimaan terhadap media yang dikembangkan. Penilaian meliputi aspek kemudahan penggunaan, tampilan media, kebermanfaatan, motivasi belajar, implementasi PjBL-STEAM, dan kepuasan pengguna. Rekapitulasi hasil angket disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Respons Peserta Didik terhadap Media

Aspek Penilaian	Persentase (%)	Kategori
Kemenarikan	96	Sangat Baik
Kemudahan Penggunaan	94	Sangat Baik
Kebermanfaatan	97	Sangat Baik
Motivasi Belajar	95	Sangat Baik
Integrasi PjBL-STEAM	94	Sangat Baik
Kepuasan Pengguna	96	Sangat Baik
Rata-rata	95,3	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 7, hasil respons peserta didik terhadap media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM memperoleh rata-rata persentase sebesar 95,3% dengan kategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa media diterima dengan sangat positif dalam pembelajaran IPA. Aspek kebermanfaatan memperoleh persentase tertinggi sebesar 97%, menunjukkan bahwa media membantu peserta didik memahami konsep pencemaran udara melalui investigasi kualitas udara secara langsung. Aspek kemenarikan dan kepuasan pengguna masing-masing memperoleh persentase 96%, sedangkan motivasi belajar memperoleh 95%. Aspek kemudahan penggunaan dan integrasi PjBL-STEAM memperoleh persentase 94%, yang menunjukkan bahwa media mudah dioperasikan serta efektif mendukung pembelajaran berbasis proyek. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik dan mendukung pembelajaran IPA yang kontekstual dan bermakna (Deliya *et al.*, 2023).

Respons positif peserta didik menunjukkan bahwa media tidak hanya menarik dari sisi visual dan teknis, tetapi juga mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik selama pembelajaran (Margaretha *et al.*, 2024). Penggunaan media dalam pembelajaran berbasis PjBL-STEAM memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna karena peserta didik berperan aktif dalam mengamati fenomena, mengumpulkan data, menganalisis hasil, dan merumuskan solusi berdasarkan bukti ilmiah.

Secara keseluruhan, hasil validasi ahli, observasi keterlaksanaan pembelajaran, dan respons peserta didik menunjukkan bahwa media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM memenuhi kategori sangat layak sebagai media pembelajaran IPA. Media mampu mengintegrasikan teknologi IoT dengan sintaks PjBL dan pendekatan STEAM sehingga mendukung pembelajaran yang kontekstual, interaktif, dan berpusat pada peserta didik. Hasil ini menguatkan bahwa media yang dikembangkan tidak hanya memenuhi aspek kualitas produk, tetapi juga memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas proses pembelajaran IPA pada materi pencemaran udara (Mulia Rasyidi *et al.*, 2022).

Hasil Praktik Pengukuran dan Analisis Kualitas Udara

Implementasi media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM memberikan pengalaman belajar kepada peserta didik untuk melakukan investigasi kualitas udara melalui kegiatan pengukuran, analisis data, dan penyusunan solusi terhadap permasalahan pencemaran udara. Praktik dilakukan pada ruang kelas, laboratorium IPA, dan perpustakaan dengan memanfaatkan sistem sensor berbasis IoT yang menampilkan data kualitas udara secara *real-time*.

Peserta didik bekerja secara berkelompok mengikuti sintaks PjBL. Setiap kelompok mengoperasikan media *Air Purifier*, melakukan pengukuran kualitas udara sebelum dan sesudah penggunaan media, kemudian mencatat hasil pengukuran parameter PM2.5, PM10, CO₂, dan NH₃. Data yang diperoleh dianalisis dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap baku mutu kualitas udara sehingga peserta didik dapat

mengidentifikasi tingkat pencemaran udara pada setiap lokasi.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, setiap kelompok menyusun produk proyek berupa poster digital, infografis, dan presentasi ilmiah yang berisi interpretasi kualitas udara, evaluasi efektivitas *Air Purifier*, serta rekomendasi pengendalian pencemaran udara di lingkungan sekolah. Produk tersebut dipresentasikan sebagai bagian dari tahap evaluasi proyek dalam sintaks PjBL. Berikut baku mutu parameter kualitas udara yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kriteria Kualitas Udara Berdasarkan Parameter Pengukuran

Parameter	Kategori		
	Baik	Sedang	Tidak Baik
PM2.5	≤15 µg/m ³	16–35 µg/m ³	>35 µg/m ³
PM10	≤45 µg/m ³	46–75 µg/m ³	>75 µg/m ³
CO ₂	≤800 ppm	801–1000 ppm	>1000 ppm
NH ₃	≤0,20 ppm	0,21–0,50 ppm	>0,50 ppm

(WHO, 2021)

Untuk memudahkan interpretasi hasil pengukuran, peserta didik membandingkan data yang diperoleh dengan kriteria kualitas udara berdasarkan masing-masing parameter. Kegiatan ini bertujuan agar peserta didik tidak hanya mengumpulkan data, tetapi juga mampu menentukan kategori kualitas udara serta mengevaluasi efektivitas penggunaan *Air Purifier* dalam memperbaiki kondisi udara pada lokasi pengamatan. Rekapitulasi hasil pengukuran kualitas udara sebelum dan sesudah penggunaan *Air Purifier* disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengukuran Kualitas Udara Sebelum dan Sesudah Penggunaan *Air Purifier*

Lokasi	PM2.5 (µg/m ³) X ₀	PM2.5 (µg/m ³) X ₁	PM10 (µg/m ³) X ₀	PM10 (µg/m ³) X ₁	CO ₂ (ppm) X ₀	CO ₂ (ppm) X ₁	NH ₃ (ppm) X ₀	NH ₃ (ppm) X ₁
Ruang Kelas	45	19	70	32	900	580	0,36	0,15
Laboratorium IPA	37	16	58	25	760	500	0,30	0,12
Perpustakaan	28	11	45	18	650	470	0,22	0,09
Rata-rata	36,7	15,3	57,7	25,0	770	513	0,29	0,12

Tabel 10. Persentase Penurunan Polutan Udara

Parameter	Sebelum (X ₀)	Sesudah (X ₁)	Penurunan (%)
PM2.5	36,7 µg/m ³	15,3 µg/m ³	58,3
PM10	57,7 µg/m ³	25,0 µg/m ³	56,7
CO ₂	770 ppm	513 ppm	33,4
NH ₃	0,29 ppm	0,12 ppm	58,6

Berdasarkan Tabel 10, hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh lokasi mengalami penurunan konsentrasi PM2.5, PM10, CO₂, dan NH₃ setelah penggunaan media *Air Purifier*. Penurunan terbesar terjadi pada ruang kelas karena sebelum penggunaan media ruangan memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya. Hasil tersebut

menunjukkan bahwa kombinasi HEPA Filter, sinar UVC, dan sistem sirkulasi udara mampu meningkatkan kualitas udara pada seluruh lokasi pengamatan.

Berdasarkan nilai ambang batas kualitas udara, konsentrasi PM2.5 (<15 µg/m³), PM10 (<45 µg/m³), CO₂ (<1000 ppm), dan NH₃ (<2 ppm), hasil pengukuran setelah penggunaan *Air Purifier* menunjukkan bahwa kualitas udara pada ketiga lokasi berada pada kategori baik dan layak untuk mendukung aktivitas pembelajaran.

Kegiatan praktik pengukuran kualitas udara pada penelitian ini memberikan pengalaman belajar yang autentik karena peserta didik tidak hanya mempelajari konsep pencemaran udara secara teoritis, tetapi juga memperoleh bukti empiris melalui pengukuran kualitas udara secara langsung (Erlin *et al.*, 2023). Proses tersebut

melatih keterampilan mengamati, mengumpulkan data, menganalisis hasil, menarik kesimpulan, dan mengomunikasikan hasil secara ilmiah yang merupakan bagian dari keterampilan proses sains (Azizah *et al.*, 2023).

Hasil praktik menunjukkan bahwa media *Air Purifier* tidak hanya berfungsi sebagai perangkat pemantau dan penjernih udara, tetapi juga sebagai media pembelajaran yang mampu menghadirkan pengalaman belajar kontekstual berbasis proyek (Jasiah, 2023). Pemanfaatan data kualitas udara secara langsung memungkinkan peserta didik menghubungkan konsep IPA dengan kondisi lingkungan nyata sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna serta mendukung pengembangan literasi sains, berpikir kritis, kolaborasi, dan pemecahan masalah.

PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengembangkan media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM yang mengintegrasikan IoT, HEPA Filter, dan sinar UVC sebagai media pembelajaran IPA pada materi pencemaran udara. Media dikembangkan menggunakan model ADDIE sehingga menghasilkan produk yang memadukan perangkat keras, sistem monitoring kualitas udara secara *real-time*, serta perangkat pembelajaran berbasis proyek. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa media memperoleh kategori sangat layak berdasarkan validasi ahli, didukung oleh keterlaksanaan pembelajaran yang berada pada kategori sangat baik serta respons peserta didik yang juga berada pada kategori sangat baik.

Hasil praktik pengukuran kualitas udara menunjukkan bahwa media mampu digunakan untuk mengukur dan menurunkan kadar polutan udara PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂, dan NH₃. Media *Air Purifier* berbasis PjBL-STEAM berpotensi mendukung pembelajaran IPA yang kontekstual, meningkatkan keterlibatan peserta didik, serta memfasilitasi pengembangan literasi sains dan keterampilan abad ke-21 melalui pembelajaran berbasis proyek. Implementasi media tidak berhenti pada kegiatan pengukuran kualitas udara, tetapi juga menghasilkan produk proyek berupa poster digital, infografis, dan presentasi ilmiah yang menjadi media kampanye edukasi lingkungan berbasis data hasil investigasi.

Pengembangan media pada penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada penambahan jenis sensor kualitas udara, peningkatan akurasi sistem monitoring berbasis IoT, serta pengembangan fitur analisis data secara otomatis. Penelitian lanjutan juga perlu menguji efektivitas media terhadap hasil belajar, literasi sains, keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah melalui desain eksperimen dengan melibatkan jumlah peserta didik dan sekolah yang lebih beragam sehingga diperoleh temuan yang lebih komprehensif dan memiliki tingkat generalisasi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Amelia, S., Wicaksana, E. J., & Mursyd, D. (2025). Essay Test Integrated with Socio- Scientific Project-Based Learning for Scientific

Argumentation. *PEDOGOGIA: Jurnal Pendidikan*, 14(2).

<https://doi.org/10.21070/pedagogia.v14i2.1949>

Annisa, N., Asrizal, & Festiyed. (2022). Effects of STEM-based learning materials on knowledge and literacy of students in science and physics learning: A meta-analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 2309(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2309/1/012063>

Aryanta, I. W. R., & Shinta, E. M. (2025). Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan dan Cara Meminimalkan Risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), 47–58.

Azizah, H., Sukarno, S., & Hartoyo, Z. (2023). Korelasi Antara Keterampilan Proses Sains Dengan Literasi Sains Siswa Madrasah Tsanawiyah Negeri Kota Jambi. *Physics and Science Education Journal (PSEJ)*, 3(April), 1–9. <https://doi.org/10.30631/psej.v3i1.1705>

Dan, R., Udara, P., & Faktor, S. (2022). Asbestos, Radon dan Polusi Udara sebagai Faktor Risiko Kanker Paru pada Perempuan Bukan Perokok. *AVERROUS: Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan Malikussaleh*, 8(1).

Deliya, D. P., Ifa, I. G., Endah, E. S., Puja, P. D., Syarifuddin, S., & Reza, M. R. P. (2023). Desain E-Lkpd Berbasis Project Based Learning Melalui Platform Liveworksheet Terhadap Pembelajaran Sejarah Secara Hybrid Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis. *Jurnal Ekonomi Dan Pendidikan*, 20(2), 54–61. <https://doi.org/10.21831/jep.v20i2.68202>

Dyta, A. (2024). Mengatasi Pencemaran Udara Melalui Kegiatan Pemberdayaan Masyarakat Menggunakan Model Aksi Sosial. *Abdimas Awang Long*, 7(2), 180–186. <https://doi.org/10.56301/awal.v7i2.1104>

Erlin, E., Eko, S., & Ima, J. (2023). Modul Fisika berbasis Kearifan Lokal dengan Pendekatan Scaffolding. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 13(4), 911–919. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i4.1182>

Firdaus, S., Putu, M. I., Widya, E., Sefi, P., Patrialova, N., Abdul, Z., Tepy, R., & Nanta, L. (2025). Smart Air Monitoring dan HEPA System Menggunakan Metode Fuzzy Logic di Ruang Publik untuk Kesehatan dan Lingkungan yang Berkelanjutan. *SEWAGATI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(3).

Fransiska, R., Muharram, M. R. W., & Giyartini, R. (2024). Pengembangan modul berbantuan augmented reality (AR) berbasis inquiry based learning di kelas IV sekolah dasar. *COLLASE (Creative of Learning Students Elementary Education)*, 7(4), 735–748. <https://doi.org/10.22460/collase.v7i4.19445>

Hendra, K., Wijaya, Y., Studi, P., Pendidikan, T., & Ganesha, U. P. (2020). Pengembangan Multimedia Pembelajaran Interaktif Berpendekatan CTL Pada Pembelajaran Tematik Siswa Kelas IV SD. *Jurnal EDUTECH Universitas Pendidikan Ganesha*, 8, 1–16.

Jasiah, J. (2023). Fostering Students' Critical Thinking

- Skills Through Technology-Based Interactive Learning in the Digital Era. *Al Yasini: Jurnal Keislaman, Sosial, Hukum Dan Pendidikan*, 8(1), 1–12. <http://doi.org/10.55102.alyasini.v8i1>,
- Kadir, D., Santosa, T. A., Iswanto, I., Marzuki, K., Guna, B. W. K., Amri, M., Widodo, H., & Suyahman, S. (2024). Effectiveness of the STEAM based SETS Learning Model to Increase Student's Scientific Literacy in Science Learning. *Edumaspul: Jurnal Pendidikan*, 8(1), 834–845. <https://doi.org/10.33487/edumaspul.v8i1.7725>
- Khotijah, S., Hanafi, A., & Septian, D. (2026). Integrasi Unsur Seni dalam Pendekatan STEAM pada Pembelajaran IPA di Madrasah Ibtidaiyah: Studi Kasus tentang Dampaknya terhadap Proses Belajar Siswa. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 4(4), 22637–22647.
- Kumala, H., Juliana, E., & Amir, A. (2024). Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Petani dalam Pembuatan Pupuk Organik Menggunakan Konsep Terra Preta melalui Penyuluhan di Desa Kota Bangun II Kecamatan Kota Bangun Darat. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 32–40.
- Lestari, Y. W., Hairida, H., Sartika, R. P., Enawati, E., & Muharini, R. (2022). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Problem Based Learning (PBL) pada Materi Koloid. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 4(4), 5342–5351. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v4i4.3227>
- Margaretha, Pramudya Dwy Aristya Putra, & Zainur Rasyid Ridlo. (2024). Pengembangan Modul IPA Berbasis STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Bagi Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 14(1), 289–297. <https://doi.org/10.37630/jpm.v14i1.1490>
- Mulia Rasyidi, Muhammad Sarjan, Agus Muliadi, Asrorul Azizi, Hamidi Hamidi, Iswari Fauzi, Muhammad Yamin, Muh. Zaini Hasanul Muttaqin, Bakhtiar Ardiansyah, Rindu Rahmatiah, Sudirman Sudirman, & Yusran Khery. (2022). Pendidikan Ipa Bervisi Sets Dalam Filsafat Multidimensi. *Al Yazidiy Jurnal Sosial Humaniora Dan Pendidikan*, 4(2), 30–36. <https://doi.org/10.55606/ay.v4i2.32>
- Nugraha, A., & Victor, N. (2022). Nilai Kearifan Lokal pada Pelestarian Lingkungan Telaga Ranjeng Kabupaten Brebes. *Jurnal Sosialita*, 17(1), 111–126.
- Parisu, C. Z. L., & Saputra, E. E. (2025). Integrasi Literasi Sains Dan Pendidikan Karakter Dalam Pembelajaran IPA Di Sekolah Dasar. *Journal of Human And Education*, 5(1), 864–872.
- Purnawati, A., & Yakin, N. (2025). Implementasi Kemampuan Literasi Sains Pembelajaran IPA Terintegrasi di Sekolah Dasar dalam. *Action Research Journal Indonesia (Arji)*, 2(2), 107–120.
- Putro, H., Delfika, I., Rifki, P., & Rayi, K. (2024). Melangkah Menuju Lingkungan yang Berkelanjutan: Tantangan dan Solusi untuk Masa Depan Bumi Melangkah Menuju Lingkungan yang Berkelanjutan: Tantangan Utama yang Dihadapi dalam Menjaga Keberlanjutan Lingkungan di. *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik*, 1(3), 111–120.
- Qonitah, S., Liska, B., & Lulu, T. B. (2022). Validitas E-LKPD Berbasis PBL Tema Energi dan Makanan dalam Menumbuhkan Kemampuan Berpikir Kreatif Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 12(September), 443–454.
- Rahma, P. A., & Nurul, F. (2024). Analisis Kebutuhan Pengembangan Prototype e-Modul Kimia Hijau Terintegrasi TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge). *Jurnal Kependidikan Kimia (HYDROGEN)*, 12(December).
- Safitri, M., & Aziz, M. R. (2022). ADDIE, sebuah model untuk pengembangan multimedia learning. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 3(2), 50–58. <http://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/jpd/article/view/2237>
- Setiawan, B., Kurnia, I. R., Hafifah, D. N., & Iasha, V. (2025). Pendekatan STEM untuk Meningkatkan Literasi Lingkungan dan Kesadaran Sosial-Ekologis Siswa Sekolah Dasar Berbasis Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). *International Journal of Education and Learning Studies (IJELS)*, 6(April), 49–62.
- Shalehha, E. R., Hidayat, A., & Maspupah, M. (2017). Penerapan Model Pembelajaran Science Technology and Society (STS) untuk Mengetahui Kemampuan Literasi Sains Siswa pada Materi Pemanasan Global. *Digilib Uinsgd*, 1(3), 1–14. [http://digilib.uinsgd.ac.id/4525/1/Jurnal PENERAPAN MODEL PEMBALAJARAN STS Untuk Mengetahui Kemampuan Literasi Sains Pada Materi Pemanasan GLObal %28Eka Rahmawati Shalehha%29.pdf](http://digilib.uinsgd.ac.id/4525/1/Jurnal%20PENERAPAN%20MODEL%20PEMBELAJARAN%20STS%20Untuk%20Mengetahui%20Kemampuan%20Literasi%20Sains%20Pada%20Materi%20Pemanasan%20Global%20Eka%20Rahmawati%20Shalehha%20.pdf)
- Subali, B., Ellianawati, Faizah, Z., & Sidiq, M. (2023). Indonesian national assessment support: Can RE-STEM Android app improve students' scientific literacy skills? *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 12(3), 1399–1407. <https://doi.org/10.11591/ijere.v12i3.24794>
- Sumampouw, Z. (2025). Analisis Kemampuan Literasi dalam Pembelajaran Berbasis STEAM untuk Mengembangkan Keterampilan Abad 21 di Sekolah Dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(4).
- Tandhim, A. W. A. (2023). Relevansi Teori Kognitif Menurut Jerome Seymour Bruner terhadap Strategi Pembelajaran Bermakna di Era Digital. *Jurnal Hukum, Pendidikan & Sosial Keagamaan*, 2, 223–234.
- Ulfa, S., Irvani, A. I., & Warliani, R. (2024). Pengembangan Modul Ajar Fisika Kurikulum Merdeka. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains (JPFS)*, 7(1), 51–59. <https://doi.org/10.52188/jpfs.v7i1.562>
- Zahro, F., Syahda, S. L., & Ni, L. (2025). Implementasi Model Pembelajaran Berbasis Multimedia Untuk Meningkatkan Pemahaman Dan Minat Belajar Siswa Pada Mata. *JIEP: Journal of Islamic Educatio and Pedagogy*, 02(01).