

Pengembangan dan Implementasi E-LKPD IPA Berbasis STEM Berbantuan *Liveworksheet* dalam Pembelajaran IPA

Aini Putri Husna*, Fransiska Harahap, Kurniahtunnisa
Universitas Negeri Manado, Tondano, Indonesia

*Corresponding Author: ainihusna18@gmail.com

Dikirim: 10-03-2026; Direvisi: 30-03-2026; Diterima: 31-03-2026

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengembangkan e-LKPD IPA berbasis STEM berbantuan *Liveworksheet* pada materi sistem pernapasan manusia untuk peserta didik kelas VIII MTs Nurul Yaqin Tondano, sekaligus mengkaji validitas, kepraktisan, dan keefektifannya. Penelitian menggunakan rancangan *Research and Development* (R&D) model 4-D yang dibatasi hingga tahap *Develop*. Dua puluh peserta didik dilibatkan sebagai subjek penelitian. Data dikumpulkan melalui lembar validasi ahli, angket respon guru dan peserta didik, serta tes kognitif *pretest* dan *posttest*. Validitas produk mencapai 91% (sangat valid), kepraktisan 87% (sangat baik), dan uji *paired sample t-test* mengkonfirmasi peningkatan hasil belajar yang signifikan ($p < 0,05$) dengan nilai *normalized gain* 0,78 (kategori tinggi). Temuan-temuan ini membuktikan bahwa e-LKPD yang dikembangkan bersifat valid, praktis, dan efektif untuk pembelajaran IPA di jenjang SMP/MTs.

Kata Kunci: e-LKPD; STEM; *Liveworksheet*; Hasil Belajar; Sistem Pernapasan.

Abstract: This study aimed to develop a STEM-based science electronic student worksheet (e-worksheet) assisted by *Liveworksheet* on the human respiratory system for eighth-grade students at MTs Nurul Yaqin Tondano, and to assess its validity, practicality, and effectiveness. A Research and Development (R&D) design using the 4-D model was employed, limited to the Develop stage. Twenty students were involved as research subjects. Data were gathered through expert validation sheets, practitioner and student response questionnaires, and pre-post cognitive tests. Validity reached 91% (very valid), practicality 87% (very good), and a paired-sample t-test confirmed significant learning improvement ($p < 0.05$) with a normalised gain of 0.78 (high category). These findings demonstrate that the developed e-worksheet is valid, practical, and effective for science learning at the junior secondary level.

Keywords: e-worksheet; STEM; *Liveworksheet*; Learning Outcomes; Respiratory System.

PENDAHULUAN

Pendidikan IPA di tingkat SMP/MTs berperan krusial dalam mempersiapkan generasi yang mampu menghadapi tantangan abad ke-21. Pembelajaran IPA selain mentransfer pengetahuan konseptual, tetapi juga untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, serta kemampuan memecahkan masalah yang berkaitan dengan kehidupan nyata (Putri & Sumartiningsih, 2025). Namun kenyataannya, pembelajaran IPA di banyak sekolah masih bersifat konvensional dan kurang mendorong keterlibatan aktif peserta didik.

Sebagai respons terhadap tuntutan pembelajaran abad ke-21, Kurikulum Merdeka yang dikembangkan oleh Kemendikbudristek (2022) menekankan pentingnya pembelajaran berbasis kompetensi yang kontekstual serta relevan dengan kehidupan nyata. Melalui kurikulum ini, guru dan satuan pendidikan didorong untuk

memaknai keterkaitan antara konsep IPA dengan fenomena di sekitar, sehingga pengalaman belajar peserta didik menjadi lebih bermakna dan mendalam.

Berdasarkan hasil observasi langsung yang dilakukan di MTs Nurul Yaqin Tondano pada bulan Agustus 2025, diperoleh gambaran yang jelas mengenai kondisi pembelajaran IPA kelas VIII. Proses pembelajaran masih didominasi metode ceramah dan pencatatan di papan tulis, tanpa dukungan media interaktif maupun kegiatan eksperimen. Guru menyatakan bahwa peserta didik sering mengalami kebingungan pada konsep-konsep abstrak seperti mekanisme inspirasi-ekspirasi, pertukaran gas di alveolus, dan hubungan antara struktur organ dengan fungsinya. Hal ini diperparah dengan tidak tersedianya laboratorium IPA di sekolah, sehingga peserta didik tidak pernah mendapatkan pengalaman praktikum. Dampak nyata dari kondisi ini adalah rendahnya ketuntasan belajar, di mana pada materi sistem pernapasan hanya 40% peserta didik yang berhasil mencapai nilai KKM. Di sisi lain, hampir seluruh peserta didik sudah membawa *smartphone* ke sekolah, namun perangkat tersebut belum dimanfaatkan untuk menunjang pembelajaran secara optimal.

Pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) hadir sebagai pendekatan pembelajaran yang paling relevan dengan kondisi saat ini. Berbeda dengan model pengajaran tradisional, STEM memadukan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika menjadi satu pengalaman belajar. Azizah dan Angelina (2025) membuktikan bahwa penerapan pembelajaran STEM di jenjang SMP mampu mendorong peningkatan signifikan pada keterampilan bernalar kritis dan kreativitas peserta didik. Meskipun pendekatan STEM semakin banyak direkomendasikan dalam pembelajaran, penerapannya di sekolah masih mengalami beberapa hambatan. Salah satu kendala yang sering dilaporkan adalah keterbatasan kesiapan guru dalam merancang pembelajaran yang mampu mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu secara terpadu. Di samping itu, minimnya ketersediaan sumber belajar serta dukungan yang memadai juga menjadi faktor yang menghambat implementasi pembelajaran berbasis STEM secara optimal di sekolah (Margot & Kettler, 2019).

Di antara berbagai materi IPA yang diajarkan di SMP/MTs, topik sistem pernapasan manusia menjadi materi dengan nilai kehidupan tinggi sekaligus kerap memunculkan tantangan pemahaman yang serius bagi peserta didik. Materi ini mencakup aspek-aspek yang secara fisiologis tidak dapat diamati langsung, seperti mekanisme difusi oksigen dan karbon dioksida yang berlangsung di dalam alveolus, fluktuasi tekanan rongga dada yang menggerakkan udara masuk dan keluar, hingga pengenalan berbagai kelainan dan gangguan yang dapat melemahkan fungsi pernapasan (Dewi, *et al.*, 2021). Kondisi seperti inilah yang peneliti jumpai saat melakukan studi pendahuluan di MTs Nurul Yaqin Tondano pada Agustus 2025. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kegiatan belajar mengajar IPA masih bertumpu pada pola ceramah satu arah, sementara ketiadaan laboratorium IPA membuat siswa tidak pernah mendapatkan pengalaman eksperimen langsung. Dampaknya, berdasarkan data rekap nilai ulangan harian yang diperoleh dari guru IPA, tingkat ketuntasan belajar pada materi sistem pernapasan hanya menyentuh angka 40%. Fakta lain menunjukkan bahwa mayoritas peserta didik sudah membawa *smartphone* ke sekolah, namun sayangnya penggunaan perangkat tersebut lebih didominasi oleh kegiatan yang tidak edukatif, seperti berselancar di media sosial dan bermain game, bukan sebagai sarana belajar yang produktif. Kondisi ini



menunjukkan bahwa dibutuhkan pendekatan pembelajaran inovatif seperti STEM yang mampu memanfaatkan teknologi digital secara terarah dan bermakna dalam konteks pembelajaran IPA.

Guna mengatasi permasalahan tersebut, pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik elektronik (e-LKPD) dipandang sebagai langkah yang tepat. e-LKPD merupakan bahan ajar berbasis digital yang dirancang untuk mendukung kegiatan belajar yang dikemas dengan pendekatan interaktif sehingga dapat mengoptimalkan keterlibatan serta hasil belajar peserta didik (Ghaisani & Setyasto, 2023). Apabila e-LKPD dirancang dengan bingkai pendekatan STEM, fungsinya melebihi lembar panduan kerja, bahkan menjadi instrumen pembelajaran yang mengarahkan peserta didik untuk menelaah konsep sains, memanfaatkan teknologi digital, mengaplikasikan prinsip rekayasa sederhana, serta menganalisis data secara matematis dalam satu rangkaian aktivitas yang sinergis (Wahyuni *et al.*, 2022).

Pemanfaatan teknologi dalam penelitian ini dilakukan melalui penggunaan platform *Liveworksheet* sebagai media digital yang mendukung pengembangan lembar kerja peserta didik secara daring. Platform ini memungkinkan lembar kerja yang sebelumnya berbentuk konvensional diubah menjadi latihan interaktif yang dapat diakses melalui perangkat digital. Selain itu, *Liveworksheet* juga menyediakan fitur yang memudahkan peserta didik dalam mengerjakan tugas secara langsung serta membantu guru dalam melakukan pemeriksaan jawaban secara lebih cepat dan efisien. Kehadiran fitur-fitur tersebut menjadikan proses pembelajaran lebih atraktif, partisipatif, dan berorientasi pada kebutuhan pengguna dalam era digital (Anggreni *et al.*, 2024). Dengan mempertimbangkan seluruh kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan e-LKPD IPA berbasis STEM berbantuan *Liveworksheet* pada materi sistem pernapasan manusia di MTs Nurul Yaqin Tondano.

KAJIAN TEORI

Hakikat Pembelajaran IPA di SMP/MTs

Pembelajaran IPA di jenjang SMP/MTs sebagai sebuah proses pembentukan kebiasaan berpikir ilmiah dan penumbuhan rasa ingin tahu peserta didik terhadap fenomena alam sekitar. Kurikulum Merdeka secara tegas menegaskan bahwa pembelajaran IPA sebaiknya dilaksanakan melalui pengalaman langsung, kegiatan inkuiri, dan eksplorasi aktif agar peserta didik benar-benar terlibat, bukan sekadar menjadi pendengar pasif (Kemendikbudristek, 2022). Namun pada praktiknya, sejumlah topik IPA termasuk materi sistem pernapasan manusia bersifat abstrak dan tidak mudah diinternalisasi hanya lewat penjelasan lisan. Ketika guru masih mengandalkan metode ceramah tanpa dukungan media yang memadai, peserta didik rentan mengalami miskonsepsi yang bersumber dari minimnya kegiatan praktikum dan kelangkaan media visual yang mendukung (Dewi *et al.*, 2021).

E-LKPD: Definisi, Fungsi, dan Kriteria Kelayakan

Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (e-LKPD) merupakan bentuk transformasi digital dari LKPD konvensional yang dikembangkan dengan memanfaatkan teknologi informasi sehingga dapat diakses secara fleksibel melalui berbagai perangkat elektronik. Dibandingkan versi cetaknya, e-LKPD unggul dalam hal kemampuan memuat beragam elemen multimedia teks, gambar, video, animasi, dan pranala interaktif yang secara bersamaan dapat mendorong motivasi dan



memperdalam partisipasi peserta didik dalam kegiatan belajar (Wahyuni *et al.*, 2022).

E-LKPD dikatakan layak apabila memenuhi tiga kriteria utama, yaitu validitas, kepraktisan, dan keefektifan. Validitas menunjukkan bahwa isi dan struktur e-LKPD telah sesuai dengan kompetensi yang ditargetkan serta didasarkan pada landasan teori pendidikan yang relevan. Kepraktisan memperlihatkan bahwa e-LKPD dapat diakses dan dimanfaatkan dengan lancar oleh guru maupun siswa tanpa menghadapi kendala berarti dalam kondisi pembelajaran. Sementara itu, keefektifan menunjukkan bahwa penggunaan e-LKPD dapat mendorong peserta didik mencapai tujuan pembelajaran, yang ditinjau dari peningkatan hasil belajar, aktivitas belajar, maupun perkembangan keterampilan peserta didik (Plomp & Nieveen, 2013).

Pendekatan STEM dalam Pembelajaran IPA

STEM merupakan singkatan dari *Science* (Sains), *Technology* (Teknologi), *Engineering* (Rekayasa), dan *Mathematics* (Matematika) empat disiplin yang dalam pendekatan ini tidak lagi diperlakukan secara terpisah, melainkan dipadukan menjadi satu kesatuan pengalaman belajar yang holistik dan bersifat pemecahan masalah (English, 2016). Implementasi pendekatan STEM dalam pembelajaran memberikan kontribusi terhadap pembentukan kompetensi abad ke-21 pada diri peserta didik. Aktivitas pembelajaran yang memadukan aspek STEM memfasilitasi peserta didik terlibat aktif dalam proses berpikir tingkat tinggi, meningkatkan literasi sains dan numerasi, serta mengembangkan kemampuan kolaborasi dan komunikasi dalam menyelesaikan berbagai permasalahan pembelajaran (Ilma *et al.*, 2023).

Dalam implementasinya di kelas, pembelajaran STEM dapat dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan. Tahap pertama adalah identifikasi dan pengamatan masalah, yaitu kegiatan ketika peserta didik mengamati fenomena atau permasalahan yang berkaitan dengan kehidupan nyata sebagai dasar pembelajaran. Tahap kedua adalah eksplorasi dan pengembangan gagasan, di mana peserta didik mengumpulkan informasi, menganalisis data, serta merumuskan berbagai kemungkinan solusi terhadap masalah yang ditemukan. Tahap ketiga adalah perancangan solusi, yaitu proses merancang model atau strategi pemecahan masalah dengan memanfaatkan konsep STEM secara terpadu. Tahap keempat adalah pengujian dan implementasi, ketika rancangan yang telah dibuat diuji atau diwujudkan dalam bentuk produk, model, atau solusi tertentu. Tahap terakhir adalah evaluasi dan refleksi, yaitu kegiatan menilai efektivitas solusi yang dihasilkan serta merefleksikan manfaatnya bagi pemahaman konsep maupun penerapannya dalam kehidupan sehari-hari (English, 2016).

Platform Liveworksheet sebagai Media Pembelajaran Digital

Liveworksheet merupakan platform berbasis web yang dapat dimanfaatkan guru untuk mentransformasikan lembar kerja biasa menjadi lembar kerja digital kaya interaktivitas. Melalui platform ini, guru dapat merancang berbagai bentuk latihan yang dapat dikerjakan peserta didik secara daring, seperti soal pilihan ganda, isian singkat, maupun aktivitas interaktif lainnya. Selain itu, *Liveworksheet* juga menyediakan berbagai fitur yang mendukung penyajian materi dan latihan secara lebih menarik sehingga kegiatan pembelajaran menjadi lebih variatif bagi peserta didik (Hermanto *et al.*, 2023; Supriyanto *et al.*, 2024).



METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam jenis *Research and Development/R&D* dengan Model pengembangan 4-D yang mencakup: *Define* (pendefinisian), *Design* (perancangan), *Develop* (pengembangan), dan *Disseminate* (penyebarluasan). Mengingat keterbatasan sumber daya dan cakupan penelitian, implementasi dalam kajian ini dibatasi hingga tahap *Develop*. Penelitian dilaksanakan di MTs Nurul Yaqin Tondano, pada semester ganjil T.A 2025/2026 (Agustus - Desember 2025).

Populasi meliputi seluruh kelas VIII MTs Nurul Yaqin Tondano pada tahun akademik 2025/2026 yang berjumlah 20 orang. Dengan mempertimbangkan jumlah populasi yang tidak besar juga hanya terdapat satu rombongan belajar pada kelas VIII, maka seluruhnya diambil sebagai sampel melalui metode sampling jenuh.

Adapun prosedur pengembangan melalui tahapan berikut: Tahap *Define* diawali dengan observasi langsung di kelas VIII dan wawancara informal dengan guru IPA guna memetakan kondisi pembelajaran, mengidentifikasi masalah, dan menetapkan kebutuhan peserta didik serta tujuan pengembangan produk. Tahap *Design* difokuskan pada penyusunan draf e-LKPD yang mengintegrasikan keempat komponen STEM ke dalam tiga e-LKPD: (1) e-LKPD 1 tentang organ sistem pernapasan; (2) e-LKPD 2 tentang mekanisme dan frekuensi pernapasan; (3) e-LKPD 3 tentang gangguan sistem pernapasan. Setiap e-LKPD memuat identitas, tujuan pembelajaran terukur, pertanyaan pemantik, aktivitas STEM berlabel eksplisit, dan kolom pelaporan hasil. Setelah draf selesai, konten diunggah ke *Liveworksheet* untuk dijadikan lembar kerja interaktif yang dapat diakses melalui *smartphone*. Tahap *Develop* mencakup tiga sub-proses: (1) finalisasi produk versi awal; (2) validasi oleh tim ahli dan revisi berdasarkan masukan validator; serta (3) implementasi produk hasil revisi di kelas penelitian disertai pengumpulan data kepraktisan dan keefektifan.

Data kevalidan dikumpulkan melalui instrumen validasi yang diserahkan kepada dua dosen ahli, masing-masing sebagai validator materi dan media, serta satu guru IPA. selaku validator. Lembar validasi materi dikembangkan berdasarkan Wijayanti (2017) dengan 21 butir penilaian mencakup kesesuaian materi, substansi isi, dan desain pembelajaran. Lembar validasi media dengan 21 butir mencakup aspek umum, penyajian, kelayakan bahasa, dan kegrafikan. Data kepraktisan dikumpulkan dengan angket dengan menggunakan skala Likert 5 pilihan. Sementara itu, untuk mengukur efektivitas perlakuan, instrumen tes dibagi menjadi 2 tahap, yaitu *pretest* dan *posttest*.

Kevalidan dihitung dengan formula:

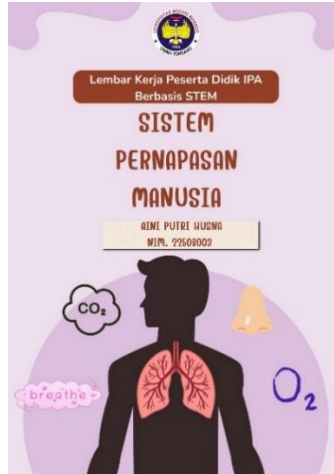
$$\text{Validitas} = \left(\frac{\text{Jumlah Skor Diperoleh}}{\text{Jumlah Skor Tertinggi}} \right) \times 100\%$$

Dengan kategori sangat valid untuk persentase $\geq 81\%$ (Afiati, 2012). Kepraktisan menggunakan formula persentase yang sama terhadap skor angket respon. Keefektifan dianalisis melalui tiga tahap: (a) uji normalitas Shapiro-Wilk; (b) uji *paired sample t-test* pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$; dan (c) perhitungan *normalized gain* (N-Gain) berdasarkan formula Hake (1998), dengan kategori tinggi untuk N-Gain $\geq 0,70$; sedang untuk $0,30 \leq \text{N-Gain} < 0,70$; dan rendah untuk N-Gain $< 0,30$.

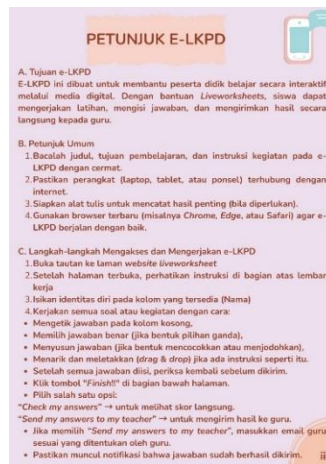


HASIL DAN PEMBAHASAN

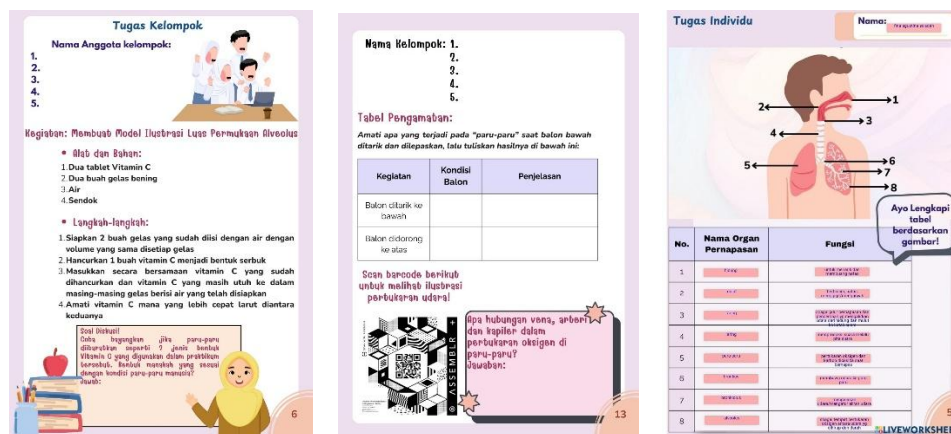
Bagian ini memaparkan hasil dan pembahasan penelitian yang disusun sesuai urutan tahapan pengembangan model 4-D, meliputi tahap *Define*, *Design*, dan *Develop*. Tampilan produk e-LKPD yang dihasilkan pada tahap *Design* disajikan pada Gambar 1, 2, dan 3 berikut.



Gambar 1. Cover E-LKPD Pada Platform *Liveworksheet*



Gambar 2. Tampilan Petunjuk E-LKPD



Gambar 3. Tampilan Isi E-LKPD

Tahap Define: Analisis Kebutuhan dan Identifikasi Masalah

Penghimpunan data awal melalui observasi dan wawancara di MTs Nurul Yaqin Tondano menghasilkan gambaran yang jelas mengenai kondisi pembelajaran IPA kelas VIII. Dari sisi proses, pembelajaran masih didominasi metode ceramah dan pencatatan di papan tulis, tanpa dukungan media interaktif maupun kegiatan eksperimen. Guru menyatakan bahwa peserta didik kerap mengalami kebingungan pada konsep-konsep abstrak seperti mekanisme perubahan tekanan saat inspirasi-ekspirasi dan struktur fungsional alveolus. Selain itu, tidak tersedianya laboratorium IPA di sekolah menjadi hambatan nyata bagi pelaksanaan praktikum yang dapat mengonkretkan konsep. Selain itu, kepemilikan *smartphone* di kalangan peserta didik masih terdapat sumber daya yang belum dieksplorasi secara maksimal dalam konteks pembelajaran. Berdasarkan hasil analisis ini, ditetapkan bahwa produk yang perlu dikembangkan adalah e-LKPD IPA berbasis STEM berbantuan *Liveworksheet* yang mampu menghadirkan visualisasi interaktif, pengalaman rekayasa sederhana, dan analisis data kuantitatif dalam satu perangkat yang dapat diakses melalui gawai peserta didik.

Tahap Design: Perancangan E-LKPD Berbasis STEM

Berdasarkan temuan tahap pendefinisian, tim peneliti merancang tiga e-LKPD yang mencakup submateri berbeda namun saling berkelanjutan. E-LKPD 1 (Organ Sistem Pernapasan) mengintegrasikan keempat elemen STEM secara terpadu: aspek Sains (S) diwujudkan melalui kegiatan identifikasi struktur dan fungsi setiap organ pernapasan; aspek Teknologi (T) melalui pemindaian kode QR untuk mengakses model 3D berbasis *augmented reality* pada *Liveworksheet*; aspek Rekayasa (E) melalui perancangan model fisik yang merepresentasikan luas permukaan alveolus; serta aspek Matematika (M) melalui kalkulasi dan perbandingan luas permukaan alveolus secara matematis.

E-LKPD 2 (Mekanisme dan Frekuensi Pernapasan) juga mengintegrasikan keempat elemen STEM: aspek Sains (S) berupa analisis perubahan tekanan dan volume rongga dada; aspek Teknologi (T) melalui penggunaan animasi 3D interaktif di *Liveworksheet* untuk memvisualisasikan gerak diafragma dan tulang rusuk; aspek Rekayasa (E) melalui perakitan model paru-paru sederhana dari botol plastik dan balon; serta aspek Matematika (M) melalui pencatatan dan analisis frekuensi pernapasan dalam kondisi istirahat dan pasca-aktivitas fisik.

E-LKPD 3 (Gangguan Sistem Pernapasan) mengintegrasikan STEM melalui: aspek Sains (S) berupa studi kasus identifikasi penyebab biologis penyakit pernapasan spesifik seperti asma, TBC, dan pneumonia; aspek Teknologi (T) melalui riset daring tentang data polutan udara menggunakan aplikasi pemantau kualitas udara; aspek Rekayasa (E) melalui perancangan poster infografis preventif; serta aspek Matematika (M) melalui pembacaan dan interpretasi grafik statistik prevalensi penyakit pernapasan. Setiap e-LKPD dilengkapi komponen identitas, tujuan pembelajaran terukur, pertanyaan pemantik, petunjuk penggunaan, aktivitas STEM berlabel eksplisit, dan kolom laporan hasil kerja.

Tahap Develop: Validasi Ahli dan Revisi Produk

Validasi e-LKPD dilaksanakan oleh tiga orang validator, yaitu dua dosen ahli (masing-masing sebagai validator media dan validator materi) dan satu guru IPA di MTs Nurul Yaqin Tondano yang menilai aspek media dan materi. Hasil penilaian ketiga validator tersebut selanjutnya dipaparkan secara ringkas pada Tabel 1.



Tabel 1. Rekap Skor Validasi Ahli Terhadap E-LKPD Berbasis STEM

| No | Indikator Penilaian Ahli Materi | | | | Indikator Penilaian Ahli Media | | |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
| | Aspek kesesuaian materi | Aspek substansi materi | Aspek desain pembelajaran | Aspek umum | Aspek penyajian pembelajaran | Aspek kelayakan bahasa | Aspek kelayakan kegrafikan |
| 1. | 3,75 | 3,4 | 3,75 | 3 | 3,2 | 3,75 | 3 |
| 2. | 4 | 4 | 4 | 3,75 | 4 | 3,6 | 4 |
| Rata-Rata Keseluruhan | | | | | | | 3,64 |
| Skor Kelayakan (%) | | | | | | | 91 |
| Kriteria | | | | | | | Sangat Valid |

Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata skor gabungan dari seluruh aspek penilaian validator mencapai 3,64 dari skala maksimum 4,00, yang setelah dikonversi menghasilkan persentase kelayakan 91% melampaui ambang kategori sangat valid ($\geq 81\%$). Aspek kesesuaian materi dan desain pembelajaran memperoleh skor tertinggi (rata-rata 3,875), mengindikasikan bahwa integrasi STEM dalam alur aktivitas e-LKPD telah berhasil dikemas sesuai kompetensi yang ditargetkan. Sebagaimana hasil penelitian Pabri *et al.*, (2022) e-LKPD berbantuan *Liveworksheet* cenderung mendapat validitas tinggi karena mampu menyajikan materi secara sistematis sekaligus interaktif. Kurniahtunnisa dan Wowor (2023) menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis STEM yang dikembangkan melalui penelitian pengembangan memiliki tingkat validitas yang tinggi, dapat diimplementasikan dengan baik dalam pembelajaran, serta berperan secara efektif dalam menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan kecakapan 4C pada diri peserta didik.

Berdasarkan masukan validator, empat area perbaikan diidentifikasi dan ditindaklanjuti. Pertama, dilakukan koreksi kesalahan penulisan dan penambahan komponen rangkuman di akhir setiap e-LKPD. Kedua, dilakukan pembenahan tata letak dan keseimbangan elemen grafis. Ketiga, dilakukan reformulasi tujuan pembelajaran menggunakan kata kerja operasional yang terukur. Keempat, dilakukan penguatan label aspek STEM pada setiap sub-topik agar keterkaitan antara aktivitas dan komponen STEM menjadi eksplisit.

Revisi dilaksanakan sebelum produk final diunggah ke *Liveworksheet* dan diimplementasikan di kelas.

Kepraktisan E-LKPD: Respon Guru dan Peserta Didik

Uji kepraktisan dilaksanakan bersamaan dengan implementasi e-LKPD di kelas VIII dalam tiga pertemuan pembelajaran (20–25 November 2025). Guru IPA dan 20 peserta didik memberikan penilaian melalui angket respon setelah menyelesaikan seluruh rangkaian kegiatan. Rekap hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skor Kepraktisan E-LKPD

| No. | Aspek Kepraktisan / Responden | Rerata Skor |
|--------------------|-------------------------------|-------------|
| 1 | Guru IPA | 4,4 |
| 2 | Peserta Didik (n = 20) | 4,3 |
| Rata-rata gabungan | | 4,35 → 87% |
| Kategori | | Sangat Baik |



Tabel 2 memperlihatkan bahwa guru IPA memberikan skor rata-rata 4,4 sementara peserta didik memberikan rata-rata 4,3, menghasilkan persentase kepraktisan gabungan sebesar 87% berada dalam kategori sangat baik. Guru mengapresiasi kemudahan mengintegrasikan e-LKPD ke dalam rencana pembelajaran yang telah ada, serta fitur pemantauan *real-time* yang membantu mengidentifikasi peserta didik yang memerlukan perhatian tambahan. Peserta didik menyatakan bahwa tampilan interaktif dan keragaman jenis aktivitas mulai dari *drag and drop*, isian singkat, hingga tayangan video menjadikan pengalaman belajar terasa lebih menarik dibandingkan pembelajaran biasa.

Kepraktisan e-LKPD ini tidak terlepas dari pemanfaatan platform *Liveworksheet* yang memungkinkan pengerjaan secara digital dengan tampilan interaktif. Peserta didik dapat langsung mengetahui hasil pekerjaannya melalui fitur koreksi otomatis, sementara guru lebih mudah melakukan evaluasi dan pemantauan secara *real-time*. Selain itu, kemudahan akses melalui smartphone tanpa membutuhkan instalasi aplikasi tambahan menjadikan e-LKPD ini sangat praktis digunakan dalam berbagai kondisi pembelajaran. Dalam pelaksanaan uji coba, guru mata pelajaran IPA tidak hanya berperan sebagai pengamat, tetapi turut mendampingi jalannya proses pembelajaran secara aktif. Guru membantu mengarahkan peserta didik dalam memahami instruksi pada e-LKPD, memastikan setiap tahapan kegiatan berjalan sesuai rencana pembelajaran, serta memberikan penguatan ketika peserta didik mengalami kesulitan. Peran aktif guru ini menunjukkan bahwa penggunaan e-LKPD berbasis STEM tetap memerlukan pendampingan agar pembelajaran berlangsung optimal. Meskipun e-LKPD dirancang untuk mendorong kemandirian belajar, interaksi dan bimbingan guru tetap menjadi faktor penting dalam membantu peserta didik mengonstruksi pemahaman secara lebih terarah. Dengan demikian, keberhasilan implementasi e-LKPD selain bergantung pada kualitas produk yang dikembangkan, namun guru berperan dalam mengelola dan membimbing aktivitas belajar didalam kelas. Hal ini konsisten dengan Pabri *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa e-LKPD berbantuan *Liveworksheet* konsisten mendapat penilaian kepraktisan tinggi dari pengguna.

Selain pendekatan pembelajaran yang digunakan, efektivitas e-LKPD dalam penelitian ini juga dipengaruhi oleh pemanfaatan media pembelajaran digital yang interaktif. Penggunaan platform *Liveworksheet* memungkinkan kegiatan pembelajaran dikemas dalam bentuk aktivitas digital yang lebih menarik bagi peserta didik. Berbagai fitur interaktif seperti *drag and drop*, soal isian singkat, serta integrasi video pembelajaran memberikan variasi aktivitas yang mampu mempertahankan perhatian peserta didik selama proses pembelajaran berlangsung.

Fitur umpan balik otomatis yang tersedia pada platform tersebut juga memberikan keuntungan selama pembelajaran. Peserta didik dapat langsung mengetahui hasil pekerjaan mereka setelah mereka menuntaskan tugas-tugas yang telah diberikan, sehingga para siswa memiliki kesempatan untuk segera melakukan perbaikan. Respon yang cepat ini membantu peserta didik memahami konsep yang belum dikuasai serta memotivasi untuk melaksanakan pembelajaran mandiri.

Keefektifan E-LKPD: Analisis Hasil Belajar

Keefektifan e-LKPD ditinjau dari hasil *pretest* dan *posttest* dari 20 peserta didik. Uji normalitas Shapiro-Wilk yang dilaksanakan membuktikan bahwa distribusi

data *pretest* ($W = 0,926$; $p = 0,130$) dan *posttest* ($W = 0,935$; $p = 0,191$) ini berdistribusi normal ($p > 0,05$). Hasil uji *paired sample t-test* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Paired Sample t-Test Pretest dan Posttest

| Pasangan Data | Mean Selisih | Std. Dev. | Std. Error | 95% CI Lower | 95% CI Upper | <i>t</i> | Sig. |
|------------------|--------------|-----------|------------|--------------|--------------|----------|-------|
| Pretest Posttest | -46,500 | 12,680 | 2,835 | -52,435 | -40,565 | -16,400 | 0,000 |

Tabel 3 memaparkan nilai sig. 0,000 ($p < 0,05$), yang mengkonfirmasi adanya perbedaan yang nyata antara hasil belajar sebelum dan sesudah penggunaan e-LKPD. Gambaran lengkap mengenai seberapa besar peningkatan hasil belajar tiap peserta didik ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Statistik Deskriptif Skor N-Gain Peserta Didik

| Variabel | N | Min | Maks | Mean | Std. Dev. |
|-----------------------|----|-------|--------|-------|-----------|
| N-Gain Skor | 20 | 0,60 | 1,00 | 0,78 | 0,122 |
| N-Gain Persentase (%) | 20 | 60,00 | 100,00 | 77,62 | 12,18 |

Data Tabel 4 menunjukkan rata-rata *N-Gain* sebesar 0,78 melampaui ambang kategori tinggi ($\geq 0,70$). Rentang *N-Gain* individual 0,60 hingga 1,00 mengindikasikan bahwa seluruh peserta didik mengalami peningkatan pemahaman, dan tidak seorang pun yang menghasilkan *N-Gain* di bawah 0,60. *N-Gain* persentase rata-rata 77,62% mengklasifikasikan produk sebagai efektif. Nilai standar deviasi *N-Gain* sebesar 0,122 menunjukkan distribusi skor yang relatif homogen, artinya mayoritas peserta didik mengalami peningkatan yang seragam sehingga e-LKPD terbukti efektif tidak hanya bagi peserta didik tertentu, melainkan bagi hampir seluruh kelas. Hasil ini memperkuat temuan Samosir dan Sipayung (2022) yang menyatakan bahwa pendekatan STEM efektif meningkatkan pemahaman konsep sistem pernapasan.

Peningkatan hasil belajar yang dialami peserta didik setelah mengikuti pembelajaran dengan e-LKPD berbasis STEM mengindikasikan bahwa pendekatan yang memadukan kegiatan eksploratif dan pemecahan masalah memungkinkan peserta didik untuk membangun pemahaman konseptual secara lebih mendalam. Dalam dinamika pembelajaran yang berlangsung, mereka tidak sekadar berperan sebagai penerima informasi yang pasif, melainkan aktif terlibat dalam beragam aktivitas yang menuntut mereka untuk mengamati fenomena, menganalisis informasi, serta menyimpulkan dari data yang ada selama kegiatan belajar berlangsung. Proses tersebut menghadirkan kesempatan bagi peserta didik untuk mengonstruksi pengetahuannya secara aktif sehingga konsep yang dipelajari menjadi lebih mudah dipahami.

Nilai *N-Gain* dengan kategori tinggi juga menunjukkan bahwa peningkatan hasil belajar tidak terjadi secara kebetulan, tetapi berkaitan dengan karakteristik pembelajaran yang diterapkan dalam e-LKPD. Aktivitas pembelajaran yang dirancang secara bertahap memungkinkan peserta didik membangun pemahaman konsep secara progresif, dimulai dari pengenalan struktur organ pernapasan, analisis mekanisme pernapasan, hingga pembahasan gangguan sistem pernapasan. Penyusunan materi yang sistematis ini membantu peserta didik menghubungkan

setiap konsep yang dipelajari sehingga terbentuk pemahaman yang lebih terintegrasi (Le *et al.*, 2023).

Keefektifan e-LKPD ini tidak terlepas dari karakteristik konten dan rancangan aktivitas yang ada di dalamnya. E-LKPD disusun ke dalam tiga subtopik yang saling berkelanjutan, yaitu organ sistem pernapasan, mekanisme dan frekuensi pernapasan, serta gangguan pada sistem pernapasan. Struktur yang bertahap ini memungkinkan peserta didik membangun pemahaman secara progresif, dari konsep dasar hingga penerapannya dalam kehidupan nyata. Pada subtopik organ pernapasan, peserta didik tidak hanya mengidentifikasi bagian-bagian organ, tetapi juga menganalisis keterkaitan struktur dan fungsinya melalui visualisasi interaktif dan model 3D berbasis *augmented reality*. Pada subtopik mekanisme pernapasan, peserta didik melakukan pengamatan dan diskusi terkait proses inspirasi-ekspirasi serta menganalisis data frekuensi pernapasan dalam kondisi berbeda. Pada subtopik gangguan pernapasan, pendekatan kontekstual digunakan dengan mengajak peserta didik mengidentifikasi faktor penyebab penyakit dan mengaitkannya dengan kondisi lingkungan sekitar (Wahyuni *et al.*, 2022).

Keberhasilan pembelajaran dalam penelitian ini juga tidak terlepas dari penerapan pendekatan STEM yang mengintegrasikan unsur STEM dalam satu rangkaian aktivitas belajar. Melalui pendekatan ini, peserta didik selain berfokus pada konsep teoritis, namun juga diajak untuk mengaplikasikan konsep tersebut dalam bentuk kegiatan yang lebih kontekstual. Kegiatan seperti merancang model paru-paru sederhana, menganalisis data frekuensi pernapasan, serta menginterpretasikan grafik penyakit pernapasan menjadikan pembelajaran yang bermakna.

Pendekatan STEM juga memotivasi peserta didik untuk meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Ketika peserta didik diminta untuk menganalisis hubungan antara struktur alveolus dengan efisiensi pertukaran gas, mereka bukan sekadar menghafal informasi yang telah dipelajari, namun juga menggunakan kemampuan berpikir kritis untuk memahami hubungan antara konsep yang berbeda. Proses pembelajaran semacam ini membantu peserta didik mengembangkan kemampuan berpikir analitis yang penting dalam pembelajaran sains (Ilma *et al.*, 2023).

Secara teoretis, capaian pembelajaran yang diperoleh dapat dijelaskan melalui perspektif konstruktivisme, suatu pandangan yang menekankan bahwasannya pengetahuan tidak diterima secara pasif, melainkan dikonstruksi secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman belajar yang bermakna. Dalam e-LKPD berbasis STEM ini, peserta didik tidak sekadar menjadi penerima informasi, tetapi juga terlibat langsung dalam proses mengidentifikasi permasalahan, melakukan pengamatan, berdiskusi, menganalisis hasil, dan menarik kesimpulan. Integrasi STEM menghadirkan konteks bermakna yang mengubah konsep abstrak menjadi lebih konkret: peserta didik tidak sekadar membaca definisi alveolus, tetapi menghitung luas permukaannya, merancang modelnya, dan menghubungkannya dengan efisiensi pertukaran gas. Interaktivitas *Liveworksheet* memelihara keterlibatan aktif dan menciptakan siklus belajar yang responsif melalui umpan balik segera. Selanjutnya, penelitian Kurniahtunnisa *et al.* (2023) mengemukakan bahwa penerapan pembelajaran berbasis STEM dapat mendukung tumbuhnya keterampilan abad ke-21 peserta didik, seperti berpikir kritis, kreatif, komunikatif, dan kolaboratif.



Sejalan dengan itu, Aini *et al.* (2023) juga menemukan bahwa pengintegrasian pendekatan STEM selama kegiatan belajar mampu meningkatkan kemampuan pemecahan masalah. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan hasil belajar yang diperoleh dari temuan ini berkaitan dengan karakteristik pembelajaran STEM yang menekankan proses pemecahan masalah secara sistematis serta dikaitkan dengan konteks kehidupan nyata.

Hasil penelitian ini mengonfirmasi temuan studi-studi terdahulu bahwa pemanfaatan media ajar berbasis STEM dapat meningkatkan pemahaman konsep IPA peserta didik. Integrasi aktivitas eksploratif memungkinkan peserta didik belajar melalui pengalaman langsung, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna. Peran media pembelajaran digital dalam meningkatkan keterlibatan peserta didik turut menjadi salah satu temuan penting dalam penelitian ini. Di sisi lain, pendekatan STEM terbukti berkontribusi terhadap pengembangan keterampilan abad ke-21, yang meliputi berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi. Kegiatan diskusi, analisis data, dan kerja kelompok yang dilaksanakan selama pembelajaran memberikan ruang bagi peserta didik untuk menumbuhkan keterampilan tersebut secara alami.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa inovasi dalam bentuk pengembangan bahan ajar digital yang mengintegrasikan pendekatan STEM dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pilihan yang bersifat strategis dalam upaya meningkatkan mutu pembelajaran IPA di lingkungan sekolah. Dengan memanfaatkan e-LKPD, para pendidik memiliki peluang untuk menghadirkan aktivitas pembelajaran yang lebih beragam dan interaktif tanpa harus bergantung sepenuhnya pada fasilitas laboratorium yang lengkap. Selain itu, pemanfaatan perangkat digital yang dimiliki peserta didik, seperti *smartphone*, dapat dioptimalkan untuk mendukung proses pembelajaran. Dengan demikian, teknologi yang sebelumnya lebih sering digunakan untuk aktivitas non-akademik dapat dialihkan menjadi sarana belajar yang produktif.

Meskipun penelitian ini mengindikasikan bahwa e-LKPD berbasis STEM cukup berhasil dalam mendorong peningkatan capaian belajar peserta didik, terdapat sejumlah keterbatasan yang patut untuk dicermati. Pelaksanaan penelitian ini hanya melibatkan satu rombongan belajar dengan jumlah subjek yang relatif kecil, sehingga temuan yang dihasilkan belum tentu dapat digeneralisasikan secara luas ke dalam setting sekolah yang berbeda karakteristiknya. Lebih lanjut, penerapan e-LKPD dalam studi ini juga terbatas cakupannya, yakni hanya diujicobakan pada satu topik pembelajaran, yaitu sistem pernapasan manusia. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan dan menguji e-LKPD berbasis STEM pada materi IPA lainnya serta melibatkan jumlah peserta didik yang lebih besar agar diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas penggunaan e-LKPD dalam pembelajaran.

Hasil pengembangan menunjukkan bahwa e-LKPD yang dirancang mampu memfasilitasi terciptanya kegiatan pembelajaran yang lebih partisipatif dan terarah. Hal ini didukung dengan karakteristik e-LKPD yang memadukan unsur materi, aktivitas belajar, serta latihan yang terstruktur sehingga membantu peserta didik membangun pemahaman secara bertahap. Dengan menyajikan kegiatan yang mengajak siswa untuk mencermati fenomena, mengolah data, dan merumuskan simpulan, e-LKPD ini memberikan ruang partisipasi langsung bagi mereka dalam



dinamika pembelajaran. Kondisi ini sejalan dengan pandangan pembelajaran konstruktivistik yang menekankan bahwa pemaknaan pengetahuan akan mencapai titik optimal ketika siswa dilibatkan secara aktif dalam proses penemuan konsep (Plomp & Nieveen, 2013). Oleh karena itu, keberadaan e-LKPD dalam konteks ini melampaui fungsi konvensional sebagai sekadar wahana transfer materi; ia bertransformasi menjadi instrumen yang secara aktif memicu siswa untuk membangun sendiri pengetahuannya melalui rangkaian aktivitas belajar yang terstruktur dengan baik.

Selain itu, implementasi STEM dalam e-LKPD memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan kualitas proses pembelajaran. Integrasi unsur STEM dalam kegiatan pembelajaran memungkinkan peserta didik melihat keterkaitan antara konsep yang dipelajari dengan penerapannya dalam kehidupan keseharian peserta didik. Melalui aktivitas yang dirancang dalam e-LKPD, peserta didik selain mempelajari konsep sistem pernapasan secara teoritis, tetapi juga diajak untuk menganalisis permasalahan yang berkaitan dengan fungsi dan kesehatan sistem pernapasan. Kegiatan tersebut mendorong peserta didik untuk berpikir secara sistematis, mengidentifikasi masalah, serta mencari solusi yang logis berdasarkan konsep yang telah dipelajari. Dengan demikian, pembelajaran berbasis STEM dalam e-LKPD dapat membantu mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi serta meningkatkan keterampilan pemecahan masalah peserta didik.

Penggunaan platform digital dalam pengembangan e-LKPD juga memberikan nilai tambah terhadap fleksibilitas pembelajaran. Melalui pemanfaatan teknologi berbasis web, peserta didik dapat mengakses materi dan mengerjakan aktivitas pembelajaran secara lebih mudah menggunakan perangkat yang mereka miliki, seperti *smartphone*. Kondisi ini menjadi solusi yang relevan terutama pada sekolah yang memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium atau media pembelajaran. Dengan adanya e-LKPD yang dapat diakses secara digital, kegiatan eksplorasi konsep tetap dapat dilakukan melalui berbagai aktivitas interaktif yang disediakan di dalamnya. Selain itu, format digital juga memungkinkan peserta didik untuk menjalani aktivitas belajar secara lebih independen karena materi dan tugas dapat diakses kapan saja sesuai kebutuhan belajar mereka.

Temuan ini berimplikasi penting dalam kegiatan pembelajaran di sekolah. Pengembangan e-LKPD berbasis STEM dapat dijadikan alternatif dalam inovasi pembelajaran yang membantu guru dalam menciptakan kegiatan belajar yang lebih variatif dan bermakna. Penggunaan media pembelajaran berbasis digital tidak hanya mendukung penyampaian materi secara lebih menarik, tetapi juga dapat mengarahkan pemanfaatan teknologi yang selama ini sering digunakan peserta didik untuk kegiatan non-akademik menjadi sarana belajar yang produktif. Oleh karena itu, pengembangan bahan ajar digital seperti e-LKPD perlu terus didorong sebagai bagian dari upaya meningkatkan kualitas pembelajaran serta menyesuaikan proses pendidikan dengan perkembangan teknologi di era digital.

KESIMPULAN

Temuan ini memberikan 3 simpulan utama. Pertama, e-LKPD IPA berbasis STEM berbantuan *Liveworksheet* pada materi sistem pernapasan manusia untuk peserta didik kelas VIII SMP/MTs yang telah dikembangkan memenuhi kriteria sangat valid dengan persentase kelayakan 91%, yang berarti konten, desain



instruksional, dan tampilan grafis produk telah sesuai standar kualitas bahan ajar digital. Kedua, produk dinyatakan sangat praktis berdasarkan respon guru dan peserta didik yang mencapai skor 87% mencerminkan kemudahan penggunaan, kemenarikan tampilan, dan penerimaan positif dari para pengguna. Ketiga, produk terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep peserta didik, yang dibuktikan oleh hasil uji *paired sample t-test* yang signifikan ($p < 0,05$) dan nilai N-Gain rata-rata 0,78 dalam kategori tinggi. Dengan demikian, e-LKPD yang dikembangkan dapat dijadikan salah satu alternatif sumber belajar yang layak dan efektif dalam mendukung pembelajaran IPA di MTs/SMP.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian, tiga saran diajukan. Pertama, e-LKPD yang memenuhi 3 kriteria kelayakan ini dapat langsung dimanfaatkan guru sebagai alternatif bahan ajar pendamping dalam pembelajaran IPA, khususnya pada topik sistem pernapasan manusia. Kedua, penerapan e-LKPD berbasis STEM sebaiknya diperluas ke lebih banyak sekolah dengan karakteristik yang beragam agar generalisasi temuan dapat dilakukan dengan pijakan empiris yang lebih kuat. Ketiga, penelitian lanjutan disarankan mengembangkan produk hingga tahap *Disseminate* agar e-LKPD dapat disebarluaskan dan dimanfaatkan oleh komunitas pendidik yang lebih luas, serta mengukur dampaknya tidak hanya pada hasil belajar kognitif, namun dalam aspek keterampilan proses sains dan kemampuan berpikir tingkat tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan penghargaan yang tulus kepada Universitas Negeri Manado atas dukungan akademik yang diberikan selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada MTs Nurul Yaqin Tondano atas izin, fasilitas, dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian, serta kepada seluruh guru dan peserta didik yang telah berpartisipasi aktif dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, M., Aini, M., Yunitasari, I., & Ridianingsih, D. S. (2023). Implementasi Model Pembelajaran Project Based Learning Berbasis Stem Terhadap Keterampilan Pemecahan Masalah. *Jurnal Pendidikan Edutama*, 10(2), 61-6. <https://doi.org/10.30734/jpe.v10i2.3364>
- Anggreni, H., Tahir, M., & Erfan, M. (2024). PENGEMBANGAN E-LKPD BERBASIS *LIVEWORKSHEET* PADA MUTAN IPAS KELAS V SDN 4 BENTEK. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9(02). <https://doi.org/10.23969/jp.v9i2.14023>
- Azizah, A., & Angelina, N. N. (2025). Efektivitas Pembelajaran Berbasis STEM dalam Meningkatkan Kreativitas dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMP Negeri 1 Jombang. *Journal of Science and Mathematics Education*, 1(2), 32-38. <https://doi.org/10.70716/josme.v1i2.169>
- Dewi, N. P., Martini, M., & Purnomo, A. R. (2021). Analisis miskonsepsi peserta didik pada materi sistem pernapasan manusia. *Pensa: E-Jurnal Pendidikan Sains*, 9(3), 422-428. <https://doi.org/10.26740/pensa.v9i3.40331>



- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Ghaisani, N. R. T., & Setyasto, N. (2023). The development of Liveworksheets-based electronic student worksheets (E-LKPD) to improve science learning outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(8), 6147-6156. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i8.4571>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hermanto, H., Aini, M., Sukmarini, M. A., & Harliana, H. (2023). Pendampingan Pembuatan LKPD menggunakan platform Liveworksheets untuk Meningkatkan Kompetensi Pengajar Pembelajaran Daring. *J-ABDIPAMAS (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 7(1), 163-174. <https://doi.org/10.30734/j-abdipamas.v7i1.3257>
- Ilma, A. Z., Wilujeng, I., Nurtanto, M., & Kholifah, N. (2023). A systematic literature review of STEM education in Indonesia (2016-2021): Contribution to improving skills in 21st century learning. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(2), 134-146. <https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.17>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Panduan pembelajaran dan asesmen pendidikan anak usia dini, pendidikan dasar, dan pendidikan menengah pada Kurikulum Merdeka*. Jakarta: Kemendikbudristek.
- Kurniahtunnisa, K., Anggraito, Y. U., Ridlo, S., & Harahap, F. (2023). STEM-PjBL learning: The impacts on students' critical thinking, creative thinking, communication, and collaboration skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5007–5015. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.2985>
- Kurniahtunnisa, K., & Wowor, E. C. (2023). Development of STEM-project based learning devices to train 4C skills of students. *Bioeduca: Journal of Biology Education*, 5(1), 66–78. <https://doi.org/10.21580/bioeduca.v5i1.14847>
- Le, H. C., Nguyen, V. H., & Nguyen, T. L. (2023). Integrated STEM approaches and associated outcomes of K-12 student learning: A systematic review. *Education Sciences*, 13(3), 297. <https://doi.org/10.3390/educsci13030297>
- Mahjatia, N., Susilowati, E., & Miriam, S. (2021). Pengembangan LKPD berbasis STEM untuk melatih keterampilan proses sains siswa melalui inkuiri terbimbing. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 4(3), 139. <https://doi.org/10.20527/jipf.v4i3.2055>
- Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM education*, 6(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Pabri, M., Medriati, R., & Risdianto, E. (2022). Uji kelayakan E-LKPD berbasis kontekstual berbantuan Liveworksheet untuk melatih kemampuan berpikir



- kritis di SMA. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(3), 637–651. <https://doi.org/10.20527/jipf.v6i3.6812>
- Plomp, T., & Nieveen, N. (2013). *Educational design research: Part A—An introduction*. Enschede, The Netherlands: Netherlands Institute for Curriculum Development (SLO).
- Putri, Z. A., & Sumartiningsih, S. (2025). Discovery learning: meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan literasi sains siswa SD pada mata pelajaran IPAS. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(04), 252-265. <https://doi.org/10.23969/jp.v10i04.37649>
- Samosir, E. E., & Sipayung, M. (2022). Pengembangan lembar kegiatan peserta didik (LKPD) pembelajaran biologi berbasis STEM pada materi sistem pernapasan manusia di kelas XI MIA SMA Swasta Deli Murni Bandar Baru. *BEST Journal*, 5(1), 183–189. <https://doi.org/10.30743/best.v5i1.4673>
- Supriyanto, A., Bakti, I. R., & Mustafa, S. R. (2024). Pelatihan LKS (Lembar Kerja Siswa) Interaktif Menggunakan LiveWorksheet Terhadap Guru SMK Negeri 1 Ujungbatu. *Mejuajua: Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 4(1), 95-99. <https://doi.org/10.52622/mejuajujabdimas.v4i1.158>
- Wahyuni, S., Putra, P. D. A., & Hidayati, S. A. (2022). Pengembangan E-LKPD berbasis STEM untuk meningkatkan kreativitas siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 10(2), 221–229. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v6i3.24244>
- Wijayanti, I. K., & Retnawati, H. (2017). Pengembangan bahan ajar dengan pendekatan kontekstual model pembelajaran Active Joyful Effective Learning pada materi segiempat dan segitiga kelas VII. *Jurnal Pedagogi Matematika (JPM)*, 6(7), 1–12. <http://journal.student.uny.ac.id/ojs/index.php/pmath/article/view/7888>