

VALIDITAS E-LKPD DAN INSTRUMEN TES BERBASIS STEM–ENGINEERING DESIGN PROCESS UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS SISWA KELAS X SMA PADA MATERI PEMANASAN GLOBAL

Validity of STEM–Engineering Design Process Based Electronic Student Worksheets and Test Instruments to Enhance the Critical Thinking Skills of Grade X Senior High School Students on Global Warming Material

Nabila Salsabila Rakhmad Putri

Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: nabilasalsabila.21012@mhs.unesa.ac.id

Tarzan Purnomo

Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: tarzanpurnomo@unesa.ac.id

Corresponding author: tarzanpurnomo@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD) berbasis STEM dengan pendekatan *Engineering Design Process* pada materi Pemanasan Global kelas X SMA yang valid. Metode penelitian menggunakan model pengembangan 4D yang dimodifikasi, meliputi tahap *define*, *design*, *develop*, dan *disseminate* terbatas. Instrumen yang divalidasi meliputi E-LKPD serta soal *pre-test* dan *post-test*, dengan penilaian oleh tiga validator yang terdiri atas ahli materi, ahli pendidikan, dan guru Biologi SMA. Hasil validasi menunjukkan bahwa E-LKPD memperoleh rata-rata keseluruhan 85,2% (kategori sangat valid), meliputi aspek isi, penyajian, dan kebahasaan. Sementara itu, soal *pre-test* memperoleh 92,8% dan soal *post-test* 94,6%, keduanya termasuk kategori sangat valid. Hasil ini membuktikan bahwa media dan instrumen yang dikembangkan memenuhi kriteria isi, konstruksi, dan bahasa secara komprehensif. Selain itu, keduanya efektif menstimulasi indikator kemampuan berpikir kritis peserta didik, mulai dari interpretasi (C3), analisis (C4), inferensi (C5), hingga evaluasi, eksplanasi, dan regulasi diri (C5–C6). Oleh karena itu, E-LKPD dan instrumen tes yang dikembangkan layak digunakan sebagai sarana pembelajaran berbasis STEM–EDP untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa secara sistematis dan terukur.

Kata Kunci: E-LKPD, STEM, *Engineering Design Process*, validitas, berpikir kritis.

Abstract

This study aims to produce a valid STEM-based Electronic Student Worksheet (E-LKPD) employing the Engineering Design Process (EDP) approach on the topic of Global Warming for Grade X Senior High School students. The research applied a modified 4D development model, consisting of the stages of define, design, develop, and limited disseminate. The validated instruments included the E-LKPD as well as pre-test and post-test items, which were assessed by three validators: a material expert, an education expert, and a high school biology teacher. The validation results indicated that the E-LKPD achieved an overall average score of 85.2% (very valid category), covering the aspects of content, presentation, and language. Meanwhile, the pre-test and post-test obtained 92.8% and 94.6%, respectively, both categorized as very valid. These findings demonstrate that the developed media and instruments comprehensively meet the criteria of content, construct, and language validity. Furthermore, they effectively stimulate students' critical thinking indicators, ranging from interpretation (C3), analysis (C4), and inference (C5) to evaluation, explanation, and self-regulation (C5–C6). Therefore, the developed E-LKPD and test instruments are feasible to be implemented as STEM–EDP-based learning tools to systematically and measurably enhance students' critical thinking skills.

Keywords: E-LKPD, STEM, *Engineering Design Process*, validity, critical thinking.

PENDAHULUAN

Kemampuan berpikir kritis merupakan salah satu kompetensi utama abad ke-21 yang harus dikembangkan melalui pembelajaran sains di sekolah menengah. Keterampilan ini diperlukan agar peserta didik mampu menganalisis, mengevaluasi, dan menyelesaikan berbagai permasalahan lingkungan yang kompleks. Namun, berbagai survei internasional menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis peserta didik Indonesia masih rendah. Hasil *Programme*



for *International Student Assessment* (PISA) tahun 2022 menunjukkan bahwa skor Indonesia dalam literasi membaca, matematika, dan sains mengalami penurunan, masing-masing sebesar 12, 13, dan 13 poin. Dalam bidang sains, hanya 34,16% peserta didik Indonesia yang mencapai level 2, jauh di bawah rata-rata negara OECD (Lubis, 2023). Data ini memperkuat temuan penelitian di sekolah menengah, Sugiharti *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa rata-rata kemampuan berpikir kritis peserta didik SMA Muhammadiyah di Surabaya hanya sebesar 51,85% dengan kategori rendah. Fakta tersebut menegaskan pentingnya inovasi dalam media pembelajaran biologi untuk mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis.

Pembelajaran biologi di SMA menuntut peserta didik untuk memahami konsep yang kompleks, mulai dari tingkat mikroskopis hingga makroskopis, sekaligus mengaitkannya dengan fenomena nyata dalam kehidupan sehari-hari (Sahil *et al.*, 2022). Pada Kurikulum Merdeka, topik Pemanasan Global merupakan salah satu materi yang strategis untuk melatih keterampilan berpikir kritis, karena berhubungan erat dengan isu lingkungan global dan pembangunan berkelanjutan. Akan tetapi, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penguasaan peserta didik terhadap materi ini masih rendah. Nuzulia *et al.* (2023) melaporkan tingkat ketuntasan klasikal peserta didik pada materi Perubahan Lingkungan hanya mencapai 67%, sedangkan penelitian Mardiyanti (2020) juga menemukan capaian belajar peserta didik masih di bawah Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (<75%). Kondisi ini menunjukkan bahwa dibutuhkan strategi dan media pembelajaran yang mampu mengintegrasikan konsep biologi dengan pemecahan masalah nyata secara sistematis.

Salah satu alternatif yang dinilai efektif untuk menghadapi tantangan tersebut adalah pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Pendekatan ini dianggap mampu mengembangkan kemampuan berpikir kritis serta kreativitas peserta didik melalui penggabungan berbagai disiplin ilmu yang dikaitkan dengan situasi nyata dalam kehidupan sehari-hari (Syarah *et al.*, 2021). Penelitian Ichsan *et al.* (2023) membuktikan bahwa penerapan STEM dalam pembelajaran sains memberikan peningkatan signifikan terhadap keterampilan abad ke-21 dengan nilai *effect size* sebesar 1,47 dan N-gain sebesar 0,86 (kategori tinggi). Agar lebih sistematis, penerapan STEM dapat dikemas menggunakan tahapan *Engineering Design Process* (EDP) yang meliputi identifikasi masalah, pengembangan ide, perancangan solusi, pengujian, evaluasi, penyempurnaan, dan komunikasi hasil. Tahapan ini sejalan dengan pembelajaran berbasis pemecahan masalah yang menuntut peserta didik berpikir kritis dan kreatif (Wahono *et al.*, 2020).

Selain pendekatan, pemilihan media juga menjadi faktor penting. Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD) dinilai efektif karena bersifat interaktif, fleksibel, dan dapat menampung aktivitas pembelajaran berbasis HOTS. Melalui E-LKPD, guru dapat menyajikan materi, tugas, dan evaluasi secara digital, serta memanfaatkan fitur inovatif seperti simulasi, studi kasus, maupun eksplorasi literatur. Hasil penelitian sebelumnya mengindikasikan bahwa penerapan E-LKPD berbasis STEM berkontribusi positif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan capaian belajar peserta didik (Allanta dan Puspita, 2021; Anggraito *et al.*, 2023). Namun, sebelum digunakan lebih luas, pengembangan E-LKPD perlu melalui tahap validasi untuk memastikan kesesuaian isi, konstruksi, dan keterbacaan, serta uji kepraktisan untuk menilai keterlaksanaan dan respon pengguna.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan E-LKPD berbasis STEM dengan pendekatan *Engineering Design Process* serta menguji validitas E-LKPD dan instrumen tes (*pre-test* dan *post-test*) guna memastikan kesesuaiannya dalam mengukur kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi Pemanasan Global.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan validitas Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik berbasis STEM dengan pendekatan *Engineering Design Process* pada materi Pemanasan Global, serta validitas instrumen tes berupa *pre-test* dan *post-test* sebagai alat ukur kemampuan berpikir kritis peserta didik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan media dan instrumen pembelajaran yang relevan dengan tuntutan Kurikulum Merdeka, sekaligus mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik di SMA.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) dengan model 4D (*Define, Design, Develop, dan Disseminate*) yang dimodifikasi. Tahap *Define* dilakukan melalui analisis kurikulum, karakteristik peserta didik, serta kebutuhan media pembelajaran. Tahap *Design* perancangan E-LKPD berbasis STEM dengan sintaks *Engineering Design Process* pada materi Pemanasan Global. Tahap *Develop* meliputi validasi ahli serta uji coba terbatas, sedangkan tahap *Disseminate* sebatas publikasi hasil. Sasaran penelitian ini adalah 20 peserta didik kelas X-12 SMA Negeri 8 Surabaya tahun ajaran 2024/2025 yang dipilih dengan teknik *purposive sampling*, karena kelas tersebut mempelajari materi Pemanasan Global sesuai Kurikulum Merdeka dan relevan untuk uji coba E-LKPD berbasis *Engineering Design Process* dalam pendekatan STEM.



Instrumen penelitian meliputi lembar validasi E-LKPD serta validasi soal *pre-test* dan *post-test*. Selain itu, digunakan alat pendukung berupa rangkaian sensor CO₂ bertenaga surya berbasis IoT, yang terdiri atas panel surya, baterai lithium-ion 18650 dengan modul TP4056, step-up converter 5 volt, mikrokontroler ESP32 devkit 1, sensor MQ-135, buzzer, Bd139, resistor 330 ohm dan 560 ohm, serta LCD OLED. Rangkaian dirakit pada PCB berlubang dan dihubungkan ke platform Blynk untuk pemantauan *real-time*.

Pengumpulan data dilakukan melalui validasi ahli terhadap dua instrumen, yaitu E-LKPD dan soal *pre-test* serta *post-test*. Validasi melibatkan tiga validator, yakni dosen ahli materi (V1), dosen ahli pendidikan (V2), dan guru biologi tingkat SMA (V3). Para ahli menilai aspek isi, penyajian, dan kebahasaan pada E-LKPD, sedangkan soal *pre-test* dan *post-test* dinilai berdasarkan kesesuaian indikator, konstruksi, dan bahasa. Penilaian menggunakan skala Likert 4 poin (1–4) diperoleh skor 1 jika kurang baik, 2 jika cukup baik, 3 jika baik, serta 4 jika sangat baik, yang dilengkapi kolom komentar sebagai masukan perbaikan. Data hasil validasi dianalisis secara kuantitatif menggunakan rumus persentase:

$$\text{Persentase Validitas (\%)} = \frac{\sum \text{Skor yang diperoleh}}{\sum \text{Skor maksimal}} \times 100\% \dots (1)$$

Hasil perhitungan kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria: 86–100% (sangat valid), 70–85% (valid), 40–69% (kurang valid), dan 0–39% (tidak valid) (Sugiyono, 2019). E-LKPD berbasis *Engineering Design Process* dalam pendekatan STEM dan soal *pre-test* serta *post-test* dinyatakan valid apabila memperoleh skor persentase indeks $\geq 70\%$ dari total skor maksimal pada setiap aspek, sehingga layak digunakan dalam penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

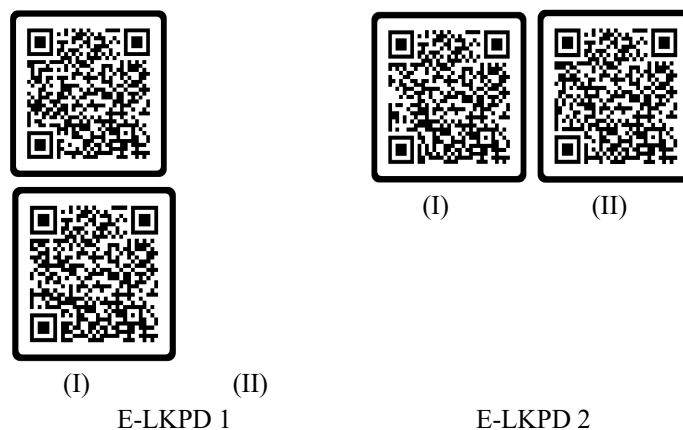
Hasil penelitian ini mencakup dua bagian utama, yaitu proses pengembangan produk dan tahap validasi untuk menilai kelayakannya. Kedua aspek disajikan secara sistematis agar dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kualitas produk yang dihasilkan. Uraian terperinci mengenai temuan pada masing-masing tahap dijelaskan pada bagian berikut:

Hasil Pengembangan

Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD) berbasis *Engineering Design Process* dalam pendekatan STEM pada materi pemanasan global menghasilkan dua produk utama, yaitu E-LKPD 1 yang berfokus pada identifikasi dampak pemanasan global serta eksplorasi ide solusi berbasis teknologi ramah lingkungan, dan E-LKPD 2 yang memandu peserta didik dalam merancang serta menguji prototipe sederhana, seperti sensor CO₂ berbasis IoT bertenaga surya. Produk E-LKPD dikembangkan dalam format digital menggunakan platform *Liveworksheets* sehingga dapat diakses melalui gawai maupun komputer, dilengkapi dengan fitur interaktif berupa video, simulasi virtual, serta tautan barcode ke literatur atau aplikasi pendukung. Setiap aktivitas dalam E-LKPD dirancang berdasarkan tujuh tahapan *Engineering Design Process* (Winarno *et al.*, 2020) untuk menstimulasi keterampilan berpikir kritis (C4–C6).

Lembar kerja peserta didik elektronik (E-LKPD) yang dikembangkan melalui beberapa tahap revisi, baik setelah seminar proposal maupun setelah validasi ahli. Revisi setelah seminar proposal difokuskan pada penyederhanaan jumlah halaman agar sesuai alokasi waktu, penataan ulang barcode agar lebih tematik, serta perbaikan peta konsep dan materi agar lebih runtut serta sesuai dengan kurikulum kelas X. Sementara itu, revisi setelah validasi ahli dilakukan untuk menyederhanakan struktur tujuan pembelajaran, merangkum fitur interaktif menjadi lebih fokus, memperbaiki penggunaan bahasa agar komunikatif, serta menyesuaikan materi dan daftar pustaka agar lebih sistematis. Melalui dua tahap revisi ini, E-LKPD menjadi lebih ringkas, interaktif, serta sesuai dengan karakteristik peserta didik SMA.









Produk yang telah direvisi disusun dalam format digital berbasis STEM-EDP dengan desain interaktif. Tata letaknya dirancang sederhana namun sistematis agar memudahkan peserta didik mengikuti setiap tahapan pembelajaran secara runtut. Desain visual yang komunikatif juga mendukung keterlibatan aktif dan mencegah kebosanan selama proses pembelajaran.



Gambar 1. Barcode akses online pada *Liveworksheets* untuk E-LKPD I dan II STEM-EDP Final

Fitur-fitur dalam E-LKPD disusun selaras dengan tahapan *Engineering Design Process* (EDP) dalam pendekatan STEM dan indikator berpikir kritis yang dituju. Fitur STEMScope ditempatkan pada tahap *Identify the Problem* dan *Generate Ideas* untuk melatih kemampuan interpretasi (C3), analisis (C4), inferensi (C5), dan eksplanasi (C5). Fitur STEMCraft berfungsi pada tahap *Design a Solution*, dengan penekanan pada analisis (C4) dan eksplanasi (C5) dalam merancang solusi. Selanjutnya, fitur STEMLab berada pada tahap *Build and Test* yang berorientasi pada inferensi (C5), regulasi diri (C5), dan evaluasi (C5) ketika peserta didik menguji rancangan. Adapun fitur STEMView mencakup tahap *Redesign* dan *Communicate Results*, melatih analisis (C4), regulasi diri (C5), interpretasi (C3), eksplanasi (C5), dan evaluasi (C5) melalui penyempurnaan rancangan dan komunikasi hasil proyek. Integrasi fitur-fitur tersebut menunjukkan kesinambungan antara tahapan *Engineering Design Process* (EDP) dalam pendekatan STEM dengan penguatan keterampilan berpikir kritis, sehingga setiap aktivitas dalam E-LKPD tidak hanya berorientasi pada produk, tetapi juga pada proses kognitif yang terukur. Berikut disajikan rangkuman berbagai fitur utama:

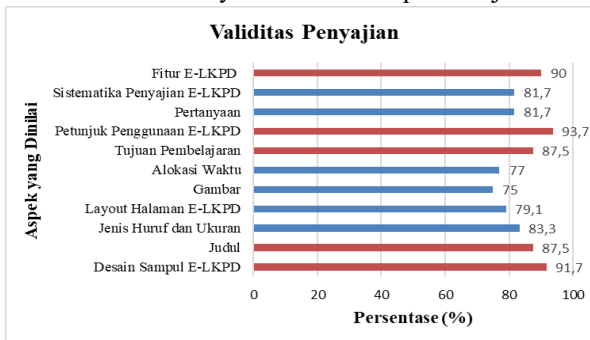
Tabel 1. Inovasi Fitur dalam E-LKPD Berbasis STEM

Inovasi Fitur E-LKPD	Deskripsi dan Peran dalam STEM
  STEMScope	STEMScope Fitur ini berfungsi sebagai sarana awal bagi peserta didik untuk mengenali permasalahan nyata dan mengeksplorasi alternatif solusi berdasarkan data ilmiah, konsep sains, dan teknologi. Pada tahap ini, peserta didik diarahkan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis terutama dalam mengidentifikasi permasalahan serta merumuskan ide-ide awal.
  STEMCraft	STEMCraft Fitur ini memberi kesempatan kepada peserta didik untuk merancang solusi teknologi secara inovatif serta membuat prototipe sederhana berbasis prinsip rekayasa. Melalui fitur ini, peserta didik dilatih mengintegrasikan pengetahuan sains, teknologi, dan desain teknis dalam menyelesaikan permasalahan lingkungan.
  STEMLab	STEMLab Fitur ini menyediakan wadah bagi peserta didik melakukan simulasi maupun pengujian langsung terhadap prototipe yang dirancang. Melalui tahap ini, peserta didik dapat mengevaluasi efektivitas solusi berdasarkan data uji maupun hasil pemantauan emisi CO ₂ .
  STEMView	STEMView Fitur ini berperan dalam tahap penyempurnaan rancangan berdasarkan hasil evaluasi serta mendorong peserta didik mempresentasikan produk yang telah dibuat, baik dalam bentuk digital maupun paparan langsung. Melalui fitur ini, peserta didik dilatih untuk mengomunikasikan ide secara ilmiah dan bekerja kolaboratif dalam menghadapi isu-isu global.

Validitas E-LKPD berbasis STEM

Uji validitas dilakukan oleh tiga validator, yaitu dosen ahli materi, dosen ahli pendidikan, dan guru Biologi SMA. Penilaian difokuskan pada tiga aspek utama, meliputi kelayakan isi, penyajian, dan kebahasaan dengan total 20 indikator

dengan rata-rata mencapai 85,2% kriteria sangat valid, menunjukkan bahwa tampilan, kesesuaian materi, serta kejelasan bahasa dalam E-LKPD telah memenuhi standar kelayakan instrumen pembelajaran berbasis STEM–EDP.

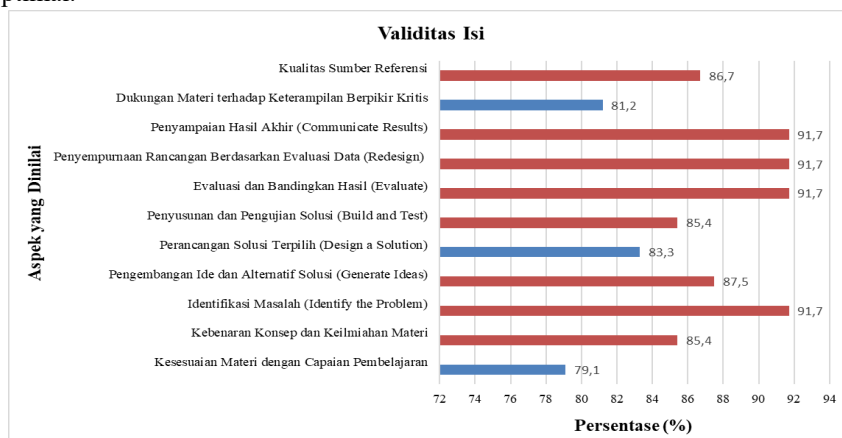


Gambar 2. Grafik Rata-Rata Setiap Aspek yang Dinilai Pada Validitas Penyajian

Berdasarkan **Gambar 2**, terlihat bahwa setiap komponen pada aspek penyajian menunjukkan variasi nilai yang mencerminkan tingkat kelayakan tampilan E-LKPD yang berbeda. Aspek penyajian E-LKPD memperoleh rata-rata 84,3% (kategori valid), menunjukkan bahwa tampilan dan struktur telah efektif mendukung berpikir kritis peserta didik, meskipun masih perlu perbaikan pada beberapa komponen. Desain sampul (91,7%) dan judul (87,5%) dinilai sangat valid karena sesuai topik dan menarik, meskipun visualnya belum sepenuhnya merepresentasikan isi. Pemilihan huruf (83,3%) dan layout halaman (79,2%) cukup konsisten, namun perlu penyesuaian proporsi agar keterbacaan dan kejelasan instruksi berpikir kritis meningkat.

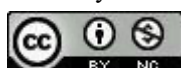
Aspek gambar (75%) menjadi nilai terendah karena ukuran dan keterangannya belum optimal mendukung analisis data. Alokasi waktu (77,1%) juga perlu disesuaikan dengan kompleksitas kegiatan agar memberi ruang lebih bagi aktivitas evaluasi dan inferensi. Pertanyaan dalam E-LKPD (81,7%) tergolong valid dan bervariasi, namun redaksinya perlu diperkuat agar lebih menstimulasi analisis, evaluasi, dan refleksi. Tujuan pembelajaran (87,5%) serta fitur interaktif (90%) menunjukkan validitas tinggi karena terintegrasi dengan sintaks *Engineering Design Process* (EDP) dan efektif memfasilitasi interpretasi serta eksplanasi ilmiah. Petunjuk penggunaan E-LKPD memperoleh nilai 93,7%, menunjukkan instruksi kegiatan jelas dan mudah diikuti siswa, sedangkan sistematika penyajian modul memperoleh 81,7%, menandakan urutan konten tersusun logis untuk mendukung berpikir kritis. Aspek penyajian E-LKPD juga mendapat dukungan empiris dari studi yang menilai ketepatan konsep dan kelayakan isi buku teks biologi berdasarkan kesesuaian Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar, yang prinsipnya dapat diaplikasikan untuk menilai modul atau lembar kerja peserta didik (Yulianti, Ilmiyati, dan Maladona, 2023).

Secara keseluruhan, E-LKPD dinyatakan valid secara instruksional dan fungsional, dengan kekuatan pada integrasi STEM–EDP yang mendukung interpretasi, analisis, dan eksplanasi, namun masih memerlukan peningkatan pada keterbacaan, kualitas visual, kejelasan pertanyaan, dan distribusi waktu agar kemampuan evaluasi dan regulasi diri peserta didik berkembang optimal.



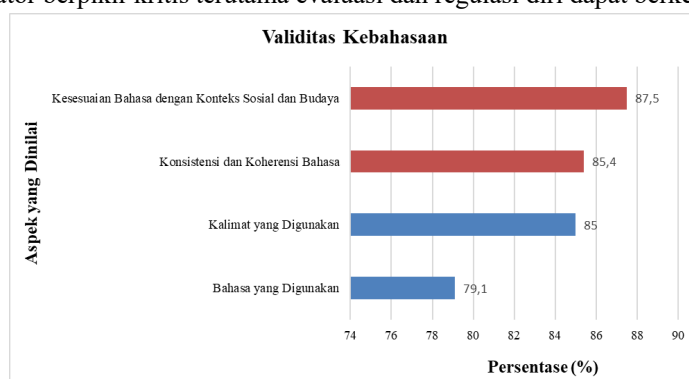
Gambar 3. Grafik Rata-Rata Setiap Aspek yang Dinilai Pada Validitas Isi

Berdasarkan **Gambar 3**, hasil validasi aspek isi menunjukkan bahwa sebagian besar komponen telah memenuhi kriteria kelayakan, meskipun terdapat beberapa bagian yang perlu disempurnakan agar lebih konsisten dengan tujuan pembelajaran dan indikator kemampuan berpikir kritis peserta didik. Validitas isi E-LKPD memperoleh rata-rata 87% (kategori sangat valid), menunjukkan bahwa konten telah layak secara ilmiah dan pedagogis untuk mendukung berpikir



kritis peserta didik. Namun, beberapa aspek masih perlu diperkuat. Kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran (79,1%) menjadi aspek terlemah karena integrasi tahapan STEM-EDP belum sepenuhnya runtut, sehingga hubungan antara aktivitas dan tujuan belajar kurang eksplisit dan dapat menghambat interpretasi serta inferensi siswa. Kebenaran konsep (85,4%) tergolong sangat valid, namun contoh penerapan STEM pada isu lingkungan masih terbatas, sehingga kemampuan evaluasi berbasis konteks autentik belum maksimal. Tahapan perancangan solusi (83,3%) juga perlu penguatan, terutama pada kriteria keberhasilan desain yang masih relatif rendah, agar siswa memiliki tolok ukur yang jelas dalam melatih kemampuan evaluasi dan regulasi diri.

Dukungan materi terhadap berpikir kritis (81,2%) sudah valid, namun aktivitas reflektif masih perlu ditingkatkan untuk menumbuhkan kesadaran evaluatif yang lebih mendalam. Sebaliknya, tahapan identifikasi masalah, evaluasi, *redesign*, dan komunikasi hasil (91,7%) menunjukkan efektivitas tinggi dalam memfasilitasi analisis, revisi solusi, dan eksplanasi ilmiah. Aspek kualitas sumber referensi (86,7%) menunjukkan validitas yang baik karena materi disusun berdasarkan literatur ilmiah dan jurnal terbaru. Namun, diperlukan tambahan rujukan kontekstual yang relevan dengan kemampuan kognitif siswa kelas X SMA agar keterkaitan dengan fenomena pemanasan global dan pendekatan *Engineering Design Process* (EDP) menjadi lebih optimal. Secara keseluruhan, E-LKPD sangat valid dalam isi dan metodologi, dengan kekuatan pada integrasi STEM-EDP yang menstimulasi analisis dan eksplanasi. Perbaikan perlu difokuskan pada keterpaduan materi dengan capaian pembelajaran, konteks aplikatif STEM, serta kejelasan kriteria evaluasi, agar semua indikator berpikir kritis terutama evaluasi dan regulasi diri dapat berkembang optimal.



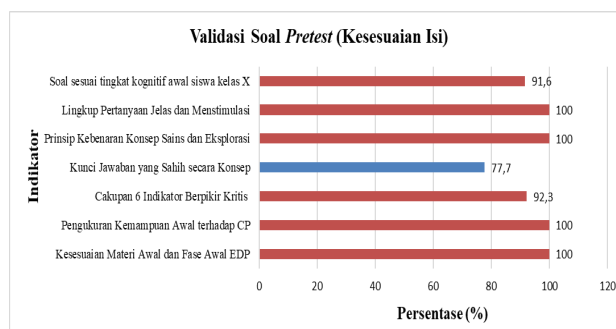
Gambar 4. Grafik Rata-Rata Setiap Aspek yang Dinilai Pada Validitas Kebahasaan

Berdasarkan **Gambar 4**, hasil validasi aspek kebahasaan menunjukkan bahwa penggunaan bahasa dalam E-LKPD telah memenuhi kriteria kejelasan, keterbacaan, dan kesesuaian dengan karakteristik peserta didik, meskipun masih diperlukan penyempurnaan pada beberapa instruksi agar lebih efektif menstimulasi kemampuan berpikir kritis. Validitas kebahasaan E-LKPD memperoleh skor rata-rata 84,3% (kategori valid). Meskipun tergolong baik, masih ditemukan beberapa kelemahan. Aspek bahasa (79,1%), belum sepenuhnya sesuai dengan tingkat kognitif peserta didik SMA, sehingga dapat membatasi interpretasi siswa terhadap instruksi. Kalimat yang digunakan cukup komunikatif (85%), namun beberapa instruksi masih kurang eksploratif untuk menstimulasi analisis dan kolaborasi. Konsistensi dan koherensi bahasa (85,4%) tergolong baik, tetapi penggunaan istilah teknis belum seragam sehingga dapat menghambat proses evaluasi dan eksplanasi. Sementara itu, kesesuaian bahasa dengan konteks sosial-budaya (87,5%) menunjukkan hasil tinggi karena materi sudah inklusif, relevan, dan menghargai keberagaman, mendukung regulasi diri serta motivasi belajar. Secara keseluruhan, E-LKPD dinilai valid secara kebahasaan, mendukung keterbacaan dan komunikasi ilmiah antar elemen STEM. Perbaikan perlu difokuskan pada penyederhanaan diksi, perumusan kalimat instruksi yang lebih eksploratif, dan konsistensi istilah teknis agar seluruh indikator berpikir kritis, khususnya interpretasi, evaluasi, dan regulasi diri dapat difasilitasi secara optimal.

Validitas Soal *Pre-test* dan *Post-test*

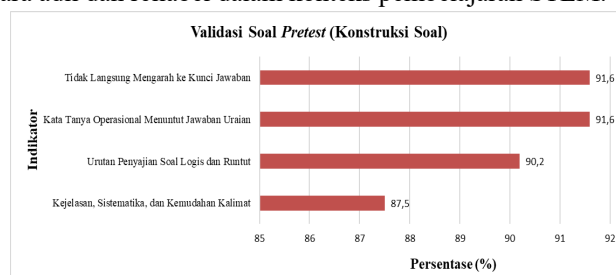
Soal *pre-test* dan *post-test* yang dikembangkan telah melalui proses validasi untuk menilai kelayakan sebagai instrumen pengukur kemampuan berpikir kritis peserta didik. Validasi dilakukan oleh tiga validator ahli, meliputi dosen materi, dosen pendidikan, dan guru Biologi SMA, dengan penilaian berdasarkan kesesuaian isi, konstruksi soal, dan bahasa. Revisi dilakukan dalam dua tahap. Pada tahap pertama, draft awal *pre-test* dan *post-test* diperbaiki terkait penempatan indikator berpikir kritis sesuai level kognitif taksonomi Bloom, penambahan unsur Degree (*Audience, Behavior, Condition, Degree*) pada setiap indikator soal, penyesuaian kunci jawaban agar sesuai dengan perintah soal, serta penyempurnaan rubrik penskoran agar lebih rinci dan kontekstual. Pada tahap kedua, seluruh indikator berpikir kritis

telah selaras dengan level taksonomi Bloom, kisi-kisi diperbaiki untuk memuat Degree secara lengkap, kunci jawaban menyesuaikan perintah soal dan tidak terbatas pada kata kunci, serta rubrik penskoran dioptimalkan untuk menilai kesesuaian jawaban dengan konteks, logika argumentasi, dan kedalaman pemahaman. Melalui dua tahap revisi ini, instrumen *pre-test* dan *post-test* menjadi lebih valid, sistematis, serta mampu mengukur kemampuan berpikir kritis peserta didik secara komprehensif. Validitas soal *pre-test* memperoleh rata-rata 92,8% (sangat valid), menunjukkan kelayakan instrumen dalam mengukur kemampuan berpikir kritis peserta didik. Pendekatan validasi instrumen *pre-test* dan *post-test* ini konsisten dengan praktik validasi LKPD berbasis STEM yang menekankan kelayakan isi, konstruksi, dan kebahasaan serta kemampuan menstimulasi regulasi diri peserta didik, sebagaimana dijelaskan oleh Susantini *et al.* (2021) dalam pengembangan *e-book* strategi pembelajaran metakognitif. Pendekatan validasi ini juga sejalan dengan metodologi yang digunakan dalam pengembangan instrumen sebelumnya, di mana validitas diuji melalui aspek isi, konstruksi, dan bahasa oleh ahli materi, ahli pendidikan, dan guru, sehingga seluruh indikator berpikir kritis terukur secara akurat (Azizah dan Purnomo, 2020).



Gambar 5. Grafik Validasi Soal *Pre-test* pada Aspek Kesesuaian Isi

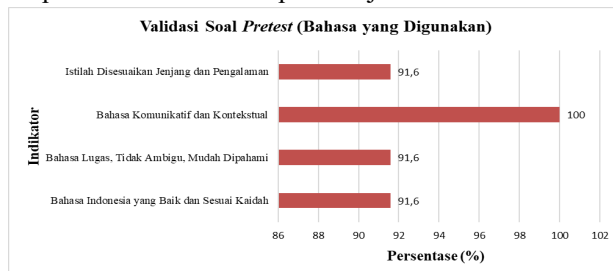
Berdasarkan **Gambar 5**, hasil validasi soal *pre-test* pada aspek kesesuaian isi menunjukkan tingkat kelayakan yang sangat tinggi, mencerminkan keterpaduan antara butir soal dan tujuan pembelajaran berbasis STEM-EDP. Aspek kesesuaian isi rata-rata 94,5% (kategori sangat valid) menjadi yang tertinggi, menunjukkan relevansi soal dengan materi pemanasan global dan tahap awal *Engineering Design Process* (EDP). Namun, kunci jawaban (77,7%) masih lemah secara konseptual, berpotensi menimbulkan ambiguitas yang dapat menurunkan akurasi pada indikator analisis (C4) dan evaluasi (C5). Selain itu, keseimbangan indikator berpikir kritis (92,3%) masih perlu diperbaiki agar seluruh komponen interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi, eksplanasi, dan regulasi diri terfasilitasi secara proporsional. Aspek tingkat kognitif (91,6%) juga menunjukkan sebagian soal belum sepenuhnya sesuai dengan kemampuan awal siswa kelas X SMA, sehingga perlu penyesuaian agar tetap menstimulasi pemikiran kritis sejak *pre-test*. Secara keseluruhan, soal *pre-test* telah sangat valid, namun revisi diperlukan pada keabsahan kunci jawaban, proporsi tingkat kognitif, dan integrasi indikator regulasi diri untuk memperkuat ketepatan pengukuran serta memastikan instrumen tepat merepresentasikan kemampuan berpikir kritis secara adil dan reliabel dalam konteks pembelajaran STEM.



Gambar 6. Grafik Validasi Soal *Pre-test* pada Aspek Konstruksi Soal

Berdasarkan **Gambar 6**, hasil validasi soal *pre-test* pada aspek konstruksi menunjukkan tingkat kelayakan yang sangat baik, menegaskan kesesuaian struktur soal dengan prinsip penyusunan instrumen berpikir kritis. Aspek konstruksi soal memperoleh rata-rata 90,2% (kategori sangat valid), menunjukkan struktur dan penggunaan kata tanya sudah sesuai prinsip penilaian berpikir kritis. Namun, kejelasan, sistematika, dan kemudahan kalimat (87,5%) masih menjadi kelemahan utama karena dapat menghambat interpretasi (C3) peserta didik terhadap maksud soal. Kalimat yang kurang jelas berpotensi menimbulkan salah tafsir, sehingga respons tidak mencerminkan kompetensi yang diukur. Aspek urutan penyajian soal (90,2%) juga perlu perbaikan untuk menjaga konsistensi alur berpikir peserta didik dalam menganalisis dan mengevaluasi (C4-C5). Sebaliknya, penggunaan kata tanya operasional dan soal yang tidak menuntun langsung ke jawaban (91,6%) dinilai efektif karena menstimulasi inferensi, evaluasi, dan regulasi diri (C5-C6) melalui penalaran

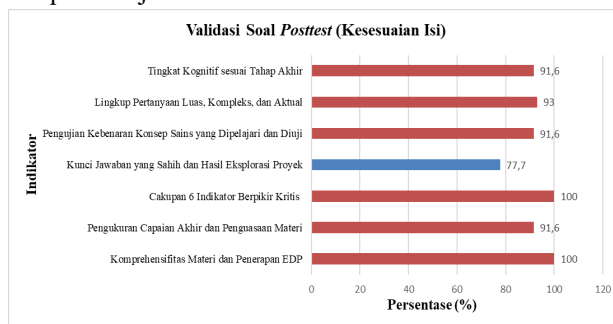
mandiri. Secara keseluruhan, konstruksi soal tergolong sangat valid, tetapi revisi pada perumusan kalimat dan urutan soal diperlukan agar koherensi logis lebih kuat serta seluruh indikator berpikir kritis khususnya interpretasi, evaluasi, dan regulasi diri dapat terukur secara optimal dalam konteks pembelajaran STEM.



Gambar 7. Grafik Validasi Soal *Pre-test* pada Aspek Bahasa yang Digunakan

Berdasarkan **Gambar 7**, hasil validasi aspek kebahasaan soal *pre-test* menunjukkan bahwa secara umum penggunaan bahasa telah memenuhi kriteria kelayakan, meskipun masih terdapat beberapa komponen yang perlu disempurnakan agar lebih sesuai dengan karakteristik peserta didik kelas X SMA. Aspek kebahasaan memperoleh rata-rata 93,7% (kategori sangat valid), menunjukkan bahwa soal telah menggunakan bahasa yang baik, lugas, dan kontekstual dengan kehidupan nyata siswa. Namun, kelemahan masih terlihat pada penggunaan bahasa sesuai kaidah, kesesuaian istilah dengan jenjang kelas X, serta kejelasan kalimat yang masing-masing hanya mencapai 91,6%. Kekurangan ini dapat menurunkan akurasi interpretasi (C3) dan inferensi (C5), karena kalimat yang ambigu berpotensi menimbulkan miskonsepsi dan memperlambat regulasi diri (C6) siswa dalam memahami maksud soal. Sebaliknya, aspek bahasa komunikatif dan kontekstual (100%) dinilai sangat baik, karena mampu melatih siswa mengaitkan konsep ilmiah dengan permasalahan nyata, sehingga memperkuat evaluasi (C5) dan eksplanasi (C6). Oleh karena itu, meskipun aspek kebahasaan tergolong sangat valid, penyederhanaan istilah teknis dan perbaikan redaksi kalimat tetap diperlukan agar semua soal lebih mudah dipahami, memperkuat keterpaduan antar indikator berpikir kritis, serta menjaga keselarasan antara *constructive alignment* dan konteks pembelajaran STEM berbasis *Engineering Design Process* (EDP).

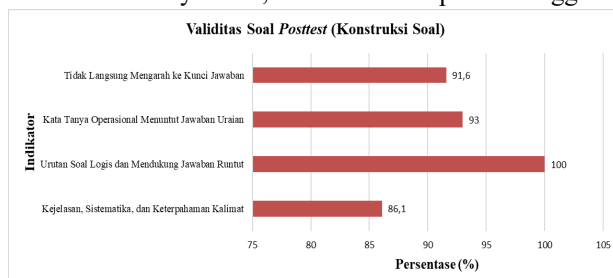
Soal *post-test* memperoleh rata-rata validitas 94,6% (sangat valid) dan dinilai layak untuk mengukur kemampuan berpikir kritis peserta didik setelah pembelajaran berbasis STEM-EDP.



Gambar 8. Grafik Validasi Soal *Post-test* pada Aspek Kesesuaian Isi

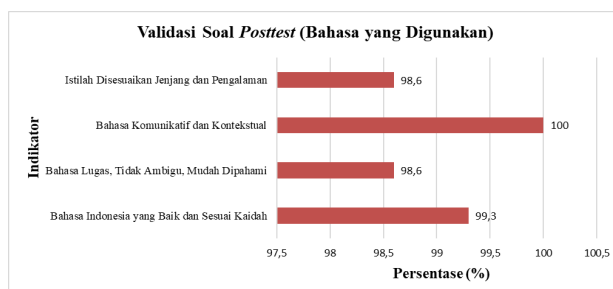
Berdasarkan **Gambar 8**, hasil validasi aspek kesesuaian isi pada soal *post-test* menunjukkan bahwa komponen materi dan indikator berpikir kritis telah terintegrasi secara baik dengan pendekatan STEM-EDP, meskipun masih ditemukan beberapa bagian yang memerlukan penyempurnaan pada kunci jawaban dan tingkat kognitif soal. Aspek kesesuaian isi memiliki rata-rata 92,2% menunjukkan integrasi yang baik antara materi pemanasan global, tahapan *Engineering Design Process*, dan indikator berpikir kritis, khususnya pada tahapan analisis (C4) hingga evaluasi (C6). Lingkup pertanyaan yang luas, kompleks, dan aktual (93%) menunjukkan bahwa soal mampu menstimulasi kemampuan berpikir (C3-C6) melalui konteks permasalahan lingkungan yang relevan. Komprehensivitas materi dan penerapan EDP (100%) memperlihatkan kesesuaian penuh antara konsep ilmiah dan proses rekayasa, sedangkan cakupan enam indikator berpikir kritis (100%) menegaskan bahwa soal telah mengukur seluruh ranah interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi, eksplanasi, dan regulasi diri secara seimbang. Namun, kelemahan utama terdapat pada aspek kunci jawaban (77,7%) yang belum sepenuhnya sah dan kurang merepresentasikan hasil eksplorasi proyek. Kondisi ini berpotensi menurunkan ketepatan pengukuran indikator inferensi (C5) dan eksplanasi (C6), karena jawaban yang menuntut penalaran mendalam tidak terekam secara optimal. Selain itu, beberapa butir soal dengan skor 91,6% pada aspek capaian akhir, kebenaran konsep, dan tingkat kognitif masih perlu ditingkatkan agar lebih menantang indikator evaluasi (C5) dan regulasi diri (C6). Oleh karena itu, revisi difokuskan pada penyusunan kunci jawaban yang lebih kontekstual dan komprehensif agar mampu

menilai kemampuan menyimpulkan dan menjelaskan alasan logis secara utuh. Perbaikan ini diharapkan memperkuat pengukuran indikator berpikir kritis secara menyeluruh, mulai dari interpretasi hingga regulasi diri.



Gambar 9. Grafik Validasi Soal *Post-test* pada Aspek Konstruksi Soal

Berdasarkan **Gambar 9**, hasil validasi aspek konstruksi soal *post-test* menunjukkan konsistensi yang baik dengan prinsip penyusunan soal berbasis indikator berpikir kritis dalam STEM-EDP. Aspek ini menilai keterpaduan antara struktur, sistematika, dan bentuk soal dalam menstimulasi penalaran logis serta kemampuan analitis peserta didik secara bertahap. Aspek konstruksi soal memperoleh rata-rata 92,6% (sangat valid), menunjukkan bahwa susunan soal telah logis, tidak menuntun langsung pada kunci jawaban, dan menggunakan kata tanya operasional yang menuntut uraian mendalam. Nilai 100% pada indikator urutan soal logis dan mendukung jawaban runtut menunjukkan bahwa susunan soal telah berjenjang dan konsisten mengarahkan siswa pada alur berpikir progresif dari interpretasi hingga regulasi diri. Namun, indikator kejelasan dan sistematika kalimat mendapat skor terendah 86,1%, menandakan perlunya perbaikan redaksi agar lebih ringkas dan mudah dipahami. Rumusan soal yang panjang berisiko mengalihkan fokus siswa dari proses analisis (C4) dan interpretasi (C3). Selain itu, skor 91,6% pada keterarahan soal terhadap kunci jawaban serta 93% pada penggunaan kata tanya menunjukkan bahwa sebagian soal masih perlu diperkuat agar lebih menantang inferensi (C5) dan evaluasi (C6). Penggunaan kata tanya seperti *analisislah*, *evaluasilah*, dan *jelaskanlah* perlu diperluas untuk mendorong penalaran terbuka dan reflektif. Penyempurnaan konstruksi ini penting agar soal benar-benar menstimulasi seluruh tahapan berpikir kritis dari interpretasi hingga evaluasi sehingga *post-test* tidak sekadar menilai pemahaman konseptual, tetapi juga mengukur kedalaman penalaran siswa dalam konteks pembelajaran *Engineering Design Process* dalam pendekatan STEM.



Gambar 10. Grafik Validasi Soal *Post-test* pada Aspek Bahasa yang Digunakan

Berdasarkan **Gambar 10**, hasil validasi aspek kebahasaan menunjukkan tingkat keandalan yang sangat tinggi dalam penyusunan soal *post-test*. Hal ini dibuktikan dengan nilai 99,3% pada indikator penggunaan Bahasa Indonesia yang baik dan sesuai kaidah serta 100% pada indikator bahasa yang komunikatif dan kontekstual. Kedua capaian ini menegaskan bahwa keseluruhan redaksi soal telah memenuhi prinsip keterbacaan dan kesesuaian konteks dengan karakteristik peserta didik SMA. Aspek kebahasaan memperoleh skor tertinggi, yaitu rata-rata 99,1% (sangat valid), menunjukkan bahwa penggunaan bahasa sudah lugas, komunikatif, dan sesuai dengan jenjang kognitif peserta didik SMA. Namun, terdapat kelemahan kecil (98,6%) pada kejelasan kalimat dan penggunaan istilah yang masih sedikit teknis, berpotensi menimbulkan ambiguitas dan menghambat proses analisis (C4) serta interpretasi (C3). Penyederhanaan istilah dan perbaikan redaksi diperlukan agar peserta didik dapat memahami maksud soal secara cepat dan akurat, sehingga inferensi (C5) dan evaluasi (C6) dapat dilakukan secara lebih mendalam. Bahasa yang lebih kontekstual dan komunikatif juga memperkuat kemampuan reflektif dan argumentatif siswa dalam menilai permasalahan lingkungan nyata. Secara keseluruhan, hasil validasi ini menunjukkan bahwa aspek kebahasaan telah memenuhi prinsip *constructive alignment* antara indikator berpikir kritis (C3–C6) dan level kognitif Bloom. Adanya revisi minor pada istilah ilmiah dan kalimat soal, *post-test* semakin mampu menstimulasi kemampuan berpikir kritis siswa secara utuh dalam pembelajaran *Engineering Design Process* dalam pendekatan STEM.

PENUTUP

Simpulan

Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD) berbasis STEM dengan pendekatan *Engineering Design Process* dinyatakan sangat valid dengan rata-rata keseluruhan 85,2%, mencakup aspek isi, penyajian, dan kebahasaan. Soal *pre-test* dan *post-test* juga dinyatakan sangat valid, masing-masing 92,8% dan 94,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa media dan instrumen pembelajaran telah memenuhi kriteria isi, konstruksi, dan bahasa secara komprehensif, serta efektif menstimulasi indikator berpikir kritis peserta didik mulai dari interpretasi (C3), analisis (C4), inferensi (C5), hingga evaluasi, eksplanasi, dan regulasi diri (C5-C6). Jadi, E-LKPD dan instrumen tes yang dikembangkan layak digunakan sebagai sarana pembelajaran STEM-EDP untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik secara sistematis dan terukur.

Saran

Penelitian lanjutan disarankan mengembangkan E-LKPD 1 dan E-LKPD 2 beserta instrumen *pre-test* dan *post-test* dengan penekanan pada konsistensi visual, kejelasan struktur kalimat, dan keakuratan kunci jawaban agar validitas konten dan keselarasan pengukuran kemampuan berpikir kritis dalam konteks pembelajaran STEM-EDP semakin optimal.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Prof. Dr. Endang Susantini, M.Pd. dan Dr. Adi Maladona, M.Pd. dari Universitas Negeri Surabaya sebagai validator E-LKPD, serta Ibu Ari Mujiati, S.Pd. dari SMAN 8 Surabaya atas masukan dan bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Allanta, T. R., & Puspita, L. (2021). Analisis Keterampilan Berpikir Kritis dan Self Efficacy Peserta Didik: Dampak PjBL-STEM Pada Materi Ekosistem. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 7(2), 158–170.
- 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), 1–4.
- Azizah, M., & Purnomo, T. (2020). Validitas dan efektivitas LKS PBL pada materi ekosistem untuk melatih keterampilan berpikir kritis. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 9(1), 102-108.
- Bybee, R. W. (2013). The case for STEM education: Challenges and opportunities. *Arlington, VA: NSTA Press*.
- Facione, P. A. 2015. *Critical thinking: What is it and why it counts*. Insight Assessment. <https://www.scribd.com/document/357190993/facione-2015>.
- Ichsan., Suharyat, Y., Santosa, T. A., & Satria, E. (2023). The Effectiveness of STEM-Based Learning in Teaching 21 st Century Skills in Generation Z Student in Science Learning: A Meta-Analysis. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1), 150-166.
- Lubis, R. B. (n.d.). *Mengulik Hasil pisa 2022 Indonesia: Peringkat Naik, Tapi Tren Penurunan skor berlanjut*. GoodStats. <https://goodstats.id/article/mengulik-hasil-pisa-2022-indonesia-peringkat-naik-tapi-i-tren-penurunan-skor-berlanjut-m6XDt>.
- Mardiyanti, S. H. (2020). Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas X MIPA-2. *Journal of Classroom Action Research*, 2(1), 1-8.
- Nuzulia, N., Bahri, A., & Waidzah, S. (2023). Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik Melalui Model Problem Based Learning pada Materi Perubahan Lingkungan di SMA Negeri 1 Sinjai. *JURNAL PEMIKIRAN DAN PENGEMBANGAN PEMBELAJARAN*, 5(2), 110-114.
- Sahil, J., Hasan, S., Haerullah, A., & Saibi, N. (2022). Penerapan Pembelajaran Abad 21 Pada Mata Pelajaran Biologi di SMA Negeri Kota Ternate. *BIOSFER: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 7(1), 13-19.
- Sugiharti, N., & Gayatri, Y. (2021). Profil Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA Muhammadiyah Kota Surabaya Pada Pembelajaran Biologi. *Jurnal PEDAGO Biologi*, 9(1), 34-40.
- Susantini, E., Puspitawati, R. P., Raharjo, & Suaidah, H. L. (2021). E-book of metacognitive learning strategies: Design and implementation to activate student's self-regulation. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning (RPTEL)*, 16, 13.

- Syarah, M. M., Rahmi, Y. L., & Darussyamsu, R. (2021). Analisis Penerapan Pendekatan STEM Pada Pembelajaran Biologi. *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi*, 6(3), 236-243.
- Yulianti, S., Ilmiyati, N., & Maladona, A. (2023). Analisis ketepatan konsep dan kelayakan isi materi berdasarkan KI dan KD pada buku teks IPA Kurikulum 2013: Materi klasifikasi makhluk hidup kelas VII. *J-KIP (Jurnal Keguruan dan Ilmu Pendidikan)*, 4(2), 426–434.
- Wahono, B., Lin, P. L., & Chang, C. Y. (2020). Evidence of STEM Enactment Effectiveness in Asian Student Learning Outcomes. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 1–18.
- Winarno, N., Rusdiana, D., Samsudin, A., Susilowati, E., Ahmad, N. J., & Afifah, R. M. A. (2020). The steps of the engineering design process (EDP) in science education: A systematic literature review. *Young Scientists*, 8(4), 1345–1360.